



TUGAS AKHIR – ME-141501

**SIMULASI PROPULSI MOTOR DC
2x1850 KW, 380 V DENGAN
RANGKAIAN MOTOR SERI DAN
PARALEL BERTEGANGAN PENUH
10260 AH PADA KAPAL 69 M**

Amalia Astrania Jaya
NRP 4212 100 145

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – ME-141501

**SIMULATION OF 2x1850 KW, 380 V DC
MOTOR PROPULSIONS IN SERIES AND
PARALEL SYTEM WITH MAXIMUM
VOLTAGE 10260 AH AT 69 M VESSEL**

Amalia Astrania Jaya
NRP 4212 100 145

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
SIMULASI PROPULSI MOTOR DC 2x1850 KW, 380V
DENGAN RANGKAIAN MOTOR SERI DAN
PARALEL BERTEGANGAN PENUH 10260 AH PADA
KAPAL 69 M

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

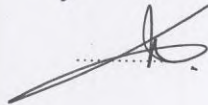
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Amalia Astrania Jaya
Nrp. 4212 100 145

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
2. Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc



SURABAYA
JULI, 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PROPULSI MOTOR DC 2x1850 KW, 380 V DENGAN RANGKAIAN MOTOR SERI DAN PARALEL BERTEGANGAN PENUH 10260 AH PADA KAPAL 69 M

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Amalia Astrania Jaya
Nrp. 4212 100 145

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

**SIMULASI PROPULSI MOTOR DC 2x1850 KW, 380
V DENGAN RANGKAIAN MOTOR SERI DAN
PARALEL BERTEGANGAN PENUH 10260 AH
PADA KAPAL 69 M**

Nama Mahasiswa : Amalia Astrania Jaya
NRP : 4212 100 145
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc

ABSTRAK

Motor listrik DC yang digunakan sebagai tenaga penggerak utama, biasanya digunakan pada kapal-kapal dengan kemampuan manuver yang tinggi, kapal khusus, kapal dengan daya tampung muatan yang besar, dan kapal yang menggunakan penggerak mula *non-reversible*. Pemanfaatan motor listrik arus searah atau motor *direct current* (DC) sebagai sistem propulsi merupakan salah satu inovasi dalam mengembangkan sistem propulsi ramah lingkungan. Salah satu alasan dalam pemilihan motor listrik DC sebagai sistem propulsi ialah kemudahan dalam kontrol putaran motor, yang berarti hal tersebut dapat memudahkan pengontrolan kecepatan pada sistem propulsi.

Pada penulisan tugas akhir akan dikaji secara numerik dengan melakukan simulasi menggunakan MATLAB mengenai sistem penggerak dengan menggunakan motor DC pada kapal selam dengan panjang 69 m yang dirangkai seri dan paralel. Kemudian akan dilakukan analisa putaran dan torsi pada setiap rangkaian.

Hasil yang diperoleh ialah dengan tegangan input yang sama nilai torsi yang dihasilkan pada rangkaian motor seri dan paralel pada kecepatan yang sama ialah nilai torsi pada rangkaian seri lebih rendah dibandingkan dengan nilai torsi pada rangkaian paralel. Sehingga pada rangkaian seri, membutuhkan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan rangkaian paralel. Untuk kapal yang membutuhkan torsi tinggi disarankan untuk menerapkan rangkaian paralel, begitu pula sebaliknya. Untuk kapal yang membutuhkan torsi yang rendah disarankan untuk menerapkan rangkaian seri pada motor.

Kata kunci : Sistem penggerak kapal, Motor DC, MATLAB

**SIMULATION OF 2x1850 KW, 380 V DC MOTOR
PROPULSIONS IN SERIES AND PARALEL
SYSTEM WITH MAXIMUM VOLTAGE 10260 AH
AT 69 M VESSEL**

Name : Amalia Astrania Jaya
NRP : 4212 100 145
Department : Marine Engineering
Advisor : Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc

ABSTRACT

An electric motor DC used as a main propulsion system, usually used on vessels which have ability of high maneuvers, special vessel, a vessel with large cargo capacity and vessel that uses non-reversible starting engine for propulsion system. The utilization of an electric motor direct current (DC motor) as propulsion system is one of innovation in developing eco-propulsion system. One of the reasons in selecting dc motor as a propulsion system is ease in DC motor speed control, which means it can control the velocity at propulsion system.

In this research, the variation of DC motor propulsion in series and parallel at 69 m vessel were analyzed numerically using MATLAB simulation for speed and torque in every circuit.

The research results were at the same input voltage from battery in series and parallel's torque and the same speed is series' torque lower than parallel's torque. So, it means that the series circuit needs lower power than parallel. For a vessel which needs a higher torque suggested to apply the parallel circuit for dc motors. And

for vessel which need a lower torque suggested to apply the series circuit for dc motors.

Key word: Propulsion system, DC Motor, MATLAB

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Karakteristik Penggerak Kapal.....	5
2.3. Pengertian Motor DC	6
2.4. Bagian-bagian Utama Motor DC	7
2.5. Prinsip Kerja Motor DC	8
2.5.1. Gaya Lorentz	9
2.6. Jenis-jenis Motor DC	10
2.6.1. Motor yang menggunakan magnet permanen	11
2.6.2. Motor DC dengan penguatan terpisah (<i>separately excited</i>)	12

2.6.3. Motor DC dengan penguatan sendiri (<i>self excited</i>)	13
2.7. Metode Pengaturan Motor DC.....	17
2.7.1. Pengaturan fluks magnet.....	18
2.7.2. Pengaturan arus jangkar (<i>armature resistance</i>) ...	18
2.7.3. Pengaturan tegangan terminal.....	19
2.8. Karakteristik Metode Ward Leonard	20
2.9. Karakteristik Motor DC.....	21
2.10. Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Metode Ward Leonard	23
2.11. Metode Perhitungan Tahanan Kapal.....	23
2.12. Metode Perhitungan dan Penentuan Propeller.....	26
2.12.1. <i>Effective Horse Power</i> (EHP)	27
2.12.2. Efisiensi Badan Kapal (η_H)	27
2.12.3. Efisiensi Relatif Rotatif (η_R)	28
2.12.4. Efisiensi Propulsi (η_O).....	28
2.12.5. <i>Delivered Horse Power</i> (DHP)	28
2.12.6. <i>Thrust Horse Power</i> (THP)	29
2.12.7. <i>Shaft Horse Power</i> (SHP)	30
2.12.8. <i>Brake Horse Power</i> (BHP).....	31
2.13. Metode Pemrograman MATLAB.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Umum	35
3.1.1. Identifikasi dan Perumusan masalah.....	35
3.1.2. Penentuan Data Variasi Rangkaian Motor DC	35
3.1.3. Studi literatur	36

3.1.4. Analisa Berdasarkan Teori Ward Leonard.....	36
3.1.5. Melakukan simulasi dengan menggunakan MATLAB	36
3.1.6. Analisa Hasil Simulasi	37
3.1.7. Membandingkan dengan Analisa Berdasarkan Metode Ward Leonard.....	37
3.1.8. Analisa dan Pembahasan.....	37
3.1.9. Validasi	38
3.1.10. Kesimpulan dan Saran.....	38
3.2. Diagram Alir	39
BAB IV ANALISA DATA	41
4.1. Data Kapal.....	41
4.2. Data Sistem Propulsi	41
4.2.1. Motor DC	41
4.2.2. Baterai	42
4.3. Data Variasi Rangkaian Motor DC sebagai Penggerak Propulsi Kapal	42
4.4. Data Kapal Pembanding dan Perhitungan Tahanan Kapal 46	
4.4.1. Detail Perhitungan.....	46
4.5. Simulasi Rangkaian Motor DC dengan menggunakan MATLAB.....	52
4.5.1. Rangkaian I	52
4.5.2. Rangkaian II	55
4.6. Detail Perhitungan Rangkaian I dan Rangkaian II	59
4.6.1. Data putaran dan nilai torsi motor DC	59

4.6.2. Detail Perhitungan Kecepatan Kapal dengan Rangkaian I	62
4.7. Analisa Grafik.....	68
4.7.1 Rangkaian I atau Rangkaian Paralel	68
4.7.2 Rangkaian II atau Rangkaian Seri.....	70
4.7.3 Grafik hubungan rangkaian I dan rangkaian II	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Karakteristik penggerak kapal	6
Gambar 2. 2 Konstruksi motor DC.....	7
Gambar 2. 3 Kaidah tangan kiri Gaya Lorentz.....	9
Gambar 2. 4 Konstruksi motor DC magnet permanen tampak atas	11
Gambar 2. 5 Rangkaian motor DC penguat terpisah (<i>separately excited</i>)	13
Gambar 2. 6 Rangkaian motor DC shunt	14
Gambar 2. 7 Rangkaian motor DC series	15
Gambar 2. 8 Rangkaian motor DC short compound	16
Gambar 2. 9 Rangkaian motor DC long compound	17
Gambar 2. 10 Pengaturan dengan arus jangkar (<i>armature resistance</i>)	19
Gambar 2. 11 Pengaturan putaran dengan metode Ward Leonard.....	20
Gambar 2. 12 Kurva hubungan antara torsi dan kecepatan pada motor DC	22
Gambar 2. 13 Rangkaian ekivalen motor DC shunt.....	22
Gambar 2. 14 Tampilan awal MATLAB	32
Gambar 2. 15 Tampilan awal SIMULINK pada MATLAB	33
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi	 39
 Gambar 4. 1 Rangkaian I motor DC.....	 45
Gambar 4. 2 Rangkaian II motor DC	45
Gambar 4. 3 Grafik LCB.....	50
Gambar 4. 4 Harga Ca pada displasement tertentu	51
Gambar 4. 5 Rangkaian I Motor DC	52
Gambar 4. 6 Rangkaian I Motor DC dengan Simulink	53
Gambar 4. 7 Grafik putaran pada rangkaian I	53
Gambar 4. 8 Grafik arus medan pada rangkaian I.....	54
Gambar 4. 9 Grafik arus jangkar pada rangkaian I.....	54

Gambar 4. 10 Grafik torsi pada rangkaian I.....	55
Gambar 4. 11 Rangkaian II motor DC	55
Gambar 4. 12 Rangkaian II pada Simulink-Matlab	56
Gambar 4. 13 Grafik putaran pada rangkaian II	57
Gambar 4. 14 Grafik arus medan pada rangkaian II	58
Gambar 4. 15 Grafik arus jangkar pada rangkaian II.....	58
Gambar 4. 16 Grafik torsi pada rangkaian II	59
Gambar 4. 17 grafik torsi vs putaran motor dc rangkaian I	59
Gambar 4. 18 grafik torsi vs putaran motor dc rangkaian II.....	61
Gambar 4. 19 grafik torsi vs putaran motor dc masing-masing rangkaian	62
Gambar 4. 20 grafik torsi vs kecepatan (knot) rangkaian I	68
Gambar 4. 21 grafik kecepatan (knot) vs putaran rangkaian I	69
Gambar 4. 22 grafik torsi vs kecepatan (knot) vs putaran rangkaian II	70
Gambar 4. 23 grafik kecepatan (knot) vs putaran rangkaian II	71
Gambar 4. 24 grafik power, torsi dan putaran propeller dari rangkaian I dan rangkaian II	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4.3.1. Variasi rangkaian motor DC sebagai propulsi kapal	43
Tabel 4.3.2. Variasi rangkaian motor DC yang akan dikaji	44
Tabel 4.4.1. Interpolasi diagram Guldhammer-Harvald.....	48
Tabel 4.6.1. Data rangkaian I motor DC	60
Tabel 4.6.2. Data rangkaian II motor DC	61
Tabel 4.6.3. Data data variasi putaran motor dc pada rangkaian I.....	63
Tabel 4.6.4. Data propeller yang telah dipilih	64
Tabel 4.6.5. nilai putaran propeller pada rangkaian I.....	65
Tabel 4.6.6. perhitungan daya dan kecepatan rangkaian I...	67
Tabel 4.6.7. perhitungan daya dan kecepatan rangkaian II ..	67

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem propulsi elektrik adalah sistem pada kapal yang menggunakan generator set sebagai mesin penggerak menggantikan posisi atau kinerja dari mesin utama, dimana dalam hal ini generator dihubungkan ke *switchboard*, dan selanjutnya energi atau aliran listrik diteruskan ke transformer, kemudian dikonversi dengan menggunakan konverter ke motor elektrik yang menggerakkan baling-baling kapal. Pada umumnya kapal yang mempunyai kegunaan khusus yang menggunakan motor DC dan untuk kapal niaga yang berorientasi profit pada umumnya menggunakan motor AC.

Motor listrik DC yang digunakan sebagai tenaga penggerak utama, biasanya digunakan pada kapal-kapal dengan kemampuan manuver yang tinggi, kapal khusus, kapal dengan daya tampung muatan yang besar, dan kapal yang menggunakan penggerak mula *non-reversible*. Penggunaan *prime mover* sebagai penggerak utama di kapal mengalami perkembangan yang sangat pesat sejak ditemukannya uap oleh J.Watt, mesin diesel oleh Rudolf Diesel serta turbin gas oleh Brayton. Hal-hal yang berhubungan dengan motor listrik seperti arus start, metode pengaturan kecepatan, metode untuk membalik putaran ialah hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan motor DC sebagai alat penggerak kapal. Sebagai contoh, kapal pemecah

es (*ice breaker*) menggunakan motor DC sebagai alat gerak, sebab torsi yang diperlukan propeller pada kapal tersebut cukup besar.

Dalam aplikasinya motor DC digunakan sebagai alternatif sistem penggerak propulsi *submersible ship* karena kecepatan putaran pada motor DC mudah diatur, sehingga diharapkan dapat pula mengatur kecepatan pada *submersible ship*.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, perumusan masalah dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi rangkaian motor DC terhadap putaran motor DC
2. Bagaimana pengaruh variasi rangkaian motor DC apabila diterapkan sebagai penggerak kapal.

1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Variasi motor DC yang digunakan didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya.
2. Analisa setiap rangkaian dibatasi hanya pada performance pada setiap rangkaian.
3. Analisa didapatkan dari hasil simulasi dengan menggunakan software serta analisa secara teoritis berdasarkan rumus yang sudah ada.
4. Hasil dari analisa setiap rangkaian akan digunakan sebagai acuan sebagai aplikasi sistem penggerak kapal.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dari variasi rangkaian motor DC terhadap putaran motor DC.
2. Mengetahui pengaruh variasi rangkaian motor DC apabila diterapkan sebagai sistem penggerak propulsi kapal.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini secara umum adalah sebagai peran serta dalam bidang energi alternatif dalam bidang sistem penggerak propulsi kapal. Sedangkan manfaat khusus dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai studi awal dalam mengetahui performa dan karakteristik pada setiap variasi rangkaian motor DC sebagai sistem penggerak kapal
2. Memberi data karakteristik dan performa pada setiap variasi rangkaian sehingga dapat diterapkan sebagai sistem penggerak propulsi kapal yang sesuai.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Pemanfaatan motor listrik arus searah atau motor *direct current* (DC) sebagai sistem propulsi merupakan salah satu inovasi dalam mengembangkan sistem propulsi ramah lingkungan. Salah satu alasan dalam pemilihan motor listrik DC sebagai sistem propulsi ialah kemudahan dalam kontrol putaran motor, yang berarti hal tersebut dapat memudahkan pengontrolan kecepatan pada sistem propulsi.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan motor DC sebagai alat penggerak ialah hal-hal yang berhubungan dengan motor listrik antara lain, arus awal, metode pengaturan kecepatan, metode pembalikan putaran, dll. Berdasarkan Zuhail (1995) terdapat tiga macam metode untuk mengatur putaran dari motor DC, salah satunya ialah dengan mengontrol *terminal voltage* atau biasa disebut dengan metode Ward-Leonard.

Dalam sistem propulsi elektrik, penyusunan dari baterai atau motor juga berpengaruh pada putaran yang akan dihasilkan. Dengan demikian dibutuhkan beberapa variasi dari rangkaian untuk menyesuaikan kebutuhan dengan kecepatan putaran yang dihasilkan oleh motor DC.

2.2. Karakteristik Penggerak Kapal

Semua penggerak bekerja pada prinsip memberikan momentum kepada fluida. Kecepatan

fluida yang bergerak melalui propulsor bertambah dari v_1 ke v_2 . Gaya dorong T yang dihasilkan adalah:

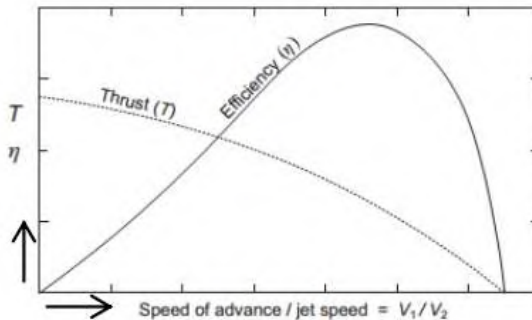
$$T = \dot{m} (v_2 - v_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

\dot{m} = massa per unit waktu

v = kecepatan

Penggerak kapal yang menggunakan motor diesel membutuhkan gaya dorong T yang tinggi untuk menggerakkan kapal dari keadaan diam. Kemudian T berkurang sedikit saat terjadi penambahan kecepatan v_1 yang sedikit. Sehingga saat kecepatan maksimum $v_1 = v_2$, gaya dorong T yang dibutuhkan adalah nol. Berikut grafik yang menunjukkan karakteristik gaya dorong T dan efisiensi penggerak kapal terhadap rasio kecepatan v_1/v_2 :



Gambar 2. 1 Karakteristik penggerak kapal
(Sumber: (Habibi M.A., 2014))

2.3. Pengertian Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sebagai contoh, energi mekanik ini digunakan untuk memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lainnya. Motor arus searah

[illegible]

Motor DC terdiri dari beberapa bagian utama, antara lain:

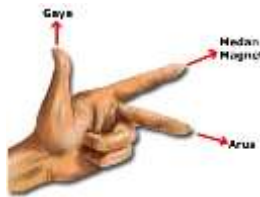
- Stator
Fungsi dari stator pada motor DC sebagai rumah dari motor yang diam sebagai tempat kedudukan magnet atau kumparan medan (*field winding*).
- Kumparan Medan (*field winding*)

Fungsi dari kumparan medan (*field winding*) ialah bagian yang membangkitkan medan magnet, dapat berupa magnet permanen maupun lilitan konduktor.

- Rotor
Merupakan poros yang berputar di dalam stator sebagai tempat kedudukan kumparan jangkar (*armature winding*).
- Kumparan Jangkar (*armature winding*)
Ialah bagian yang dialiri arus untuk mendapatkan efek induksi elektromagnetik, berupa lilitan konduktor.
- Komutator
Berfungsi sebagai penyearah mekanik yang akan digunakan bersamaan dengan sikat-sikat yang diletakkan sedemikian rupa sehingga komutasi terjadi pada saat sisi kumparan berbeda.
- Sikat-sikat (*brushes*)
Ialah bagian pada stator yang berhubungan dengan sumber tegangan di luar motor dan berkontak dengan komutator pada rotor sehingga memungkinkan adanya arus listrik pada jangkar.

2.5.Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip dasar motor listrik arus searah adalah jika kumparan jangkar yang dialiri listrik dan kumparan medan diberi penguatan, maka akan timbul gaya Lorentz pada tiap-tiap sisi kumparan jangkar tersebut. Gaya Lorentz mempunyai arah seperti ditunjukkan oleh kaidah tangan kiri, yaitu apabila ibu jari dan telapak tangan tegak lurus, maka:



Gambar 2. 3 Kaidah tangan kiri Gaya Lorentz
(Sumber: (www.ujiansma.com, 2103))

Keterangan:

- Ibu jari : menunjukkan arah arus listrik
 Jari tengah : menunjukkan arah gaya Lorentz
 Jari telunjuk : menunjukkan arah medan magnet

2.5.1. Gaya Lorentz

Gaya Lorentz atau gaya elektromagnet terjadi akibat adanya gaya yang ditimbulkan saat konduktor yang dialiri arus berada dalam medan magnet. Besar gaya bergantung pada orientasi konduktor terhadap arah medan magnet, dimana gaya terbesar saat konduktor tegak lurus medan magnet dan sama dengan nol saat konduktor sejajar dengan medan magnet.

$$F = B \cdot I \cdot L \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- F = gaya pada konduktor (N)
 B = rapat fluks pada medan magnet (T)
 I = arus pada konduktor (A)
 L = panjang konduktor pada medan magnet (m)

Selama jangkar berputar pada medan magnet yang dihasilkan oleh kutub stator, dihasilkan tegangan terinduksi pada belitan jangkar. Kita dapat memulai dengan memperhatikan tegangan terinduksi pada lilitan disebabkan perubahan *flux* ϕ , Hukum Faraday. Persamaan tegangan terinduksi E_a :

$$E_a = K_a \phi \omega_a \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

K_a = konstanta jangkar

ω_a = kecepatan sudut (rad/s) = $2\pi n_m$

Semua konduktor pada belitan jangkar menghasilkan torsi dengan arah yang sama. Total torsi yang dihasilkan:

$$T = \frac{N\phi p}{\pi a} I_a = K_a \phi I_a \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

N = lilit konduktor

p = jumlah kutub

a = jumlah jalur paralel pada konduktor

I_a = arus jangkar (A)

Pada motor, dengan mengabaikan rugi poros terhadap bantalan, daya jangkar ($E_a I_a$) ke medan magnet dengan sistem elektrik sama dengan daya mekanik ($T \omega_m$). Dari persamaan:

$$P_a = E_a I_a = T \omega_m = K_a \phi I_a \omega_m \dots\dots\dots(2.5)$$

2.6. Jenis-jenis Motor DC

Berdasarkan sistem pembangkitan medan magnet, motor DC dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

2.6.1. Motor yang menggunakan magnet permanen

Motor DC magnet permanen memiliki dua buah magnet permanen sehingga timbul medan magnet diantara kedua magnet tersebut. Persamaan yang berlaku pada motor DC magnet permanen yaitu:

$$N = \frac{V_{TM} - I_A \cdot R_A}{C \cdot \Phi} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

N = putaran motor DC

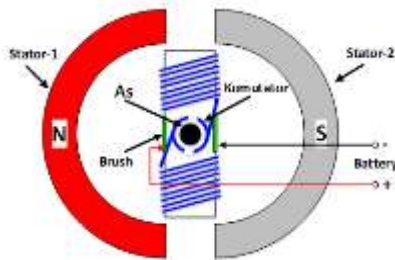
V_{TM} = tegangan terminal

I_A = arus jangkar motor

R_A = hambatan jangkar motor

C = konstanta motor

Φ = fluks magnet yang terbentuk pada motor



Gambar 2. 4 Konstruksi motor DC magnet permanen tampak atas

(Sumber: (www.robotics-university.com, 2014))

2.6.2. Motor DC dengan penguatan terpisah (*separately excited*)

Motor ini disuplai oleh dua sumber tegangan DC (V_F dan V_T) sehingga sumber untuk kumparan jangkar terpisah dengan sumber untuk kumparan medan. Arus yang diberikan untuk jangkar dan penguat magnet tidak terikat satu sama lain. Arus medan dipasok dari sumber terpisah dimana kumparan medan dan kumparan jangkar mempunyai sumber yang berbeda. Karakteristik motor DC penguat terpisah yaitu mudah dalam pengaturannya tetapi tidak ekonomis dalam penggunaan sumber tegangan. Persamaan yang berlaku pada motor DC penguatan magnet terpisah ialah :

$$V_F = i_F \cdot R_F \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V_T = E_A + (i_A \cdot R_A) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \emptyset \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

V_F = tegangan kumparan medan

i_F = arus medan

R_F = tahanan kumparan medan

V_T = tegangan kumparan jangkar

E_A = GGL-balik pada kumparan jangkar

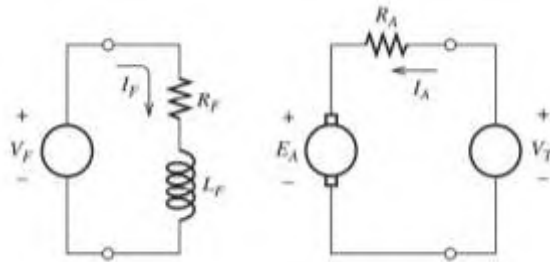
i_A = arus jangkar

R_A = tahanan kumparan jangkar

C = tetapan jangkar

n = putaran jangkar

\emptyset = fluks total kumparan medan



Gambar 2. 5 Rangkaian motor DC penguat terpisah
(*separately excited*)

(Sumber: (www.blogs.itb.ac.id, 2013))

2.6.3. Motor DC dengan penguatan sendiri (*self excited*)

Motor DC penguat medan sendiri atau *self excited* disuplai oleh satu sumber tegangan (V_T = tegangan terminal) pada kedua kumparannya, kumparan jangkar dan kumparan medan. Motor DC penguat sendiri berdasarkan sistem kumparan jangkar terhadap kumparan medannya dibedakan menjadi tiga, antara lain:

a. Motor DC *Shunt*

Ialah motor DC dengan kumparan penguat yang dihubungkan secara paralel dengan kumparan jangkar. Motor ini disuplai oleh satu sumber tegangan DC. Penggunaan motor DC shunt cocok untuk beban yang tetap. Persamaan yang berlaku antara lain:

$$V_F = V_T \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V_T = I_{SH} \cdot R_{SH} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_T = E_A + I_A \cdot R_A \dots\dots\dots (2.12)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

V_F = tegangan kumparan medan

I_{SH} = arus medan-shunt

R_{SH} = tahanan kumparan medan-shunt

V_T = tegangan kumparan jangkar

E_A = GGL-balik pada kumparan

jangkar

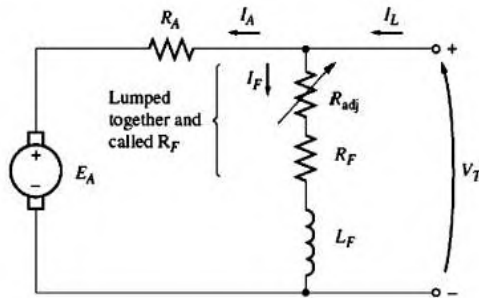
i_A = arus jangkar

R_A = tahanan kumparan jangkar

C = tetapan jangkar

n = putaran jangkar

Φ = fluks total kumparan medan



Gambar 2. 6 Rangkaian motor DC *shunt*
(Sumber: (Chapman, 2005))

b. Motor DC *Series*

ialah motor DC yang memiliki hubungan seri antara kumparan jangkar dengan kumparan penguat. Motor ini disuplai oleh satu sumber tegangan DC. Motor DC series lebih cocok digunakan

untuk beban yang berubah-ubah. Persamaan yang berlaku antara lain:

$$i_F = i_L = i_A \dots\dots\dots (2.14)$$

$$V_S = I_S \cdot R_S \dots\dots\dots (2.15)$$

$$V_T = E_A + (I_A \cdot R_A) + (I_S \cdot R_S) \dots\dots (2.16)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

V_F = tegangan kumparan medan

I_{SH} = arus medan-seri

R_{SH} = tahanan kumparan medan-seri

V_T = tegangan kumparan jangkar

E_A = GGL-balik pada kumparan jangkar

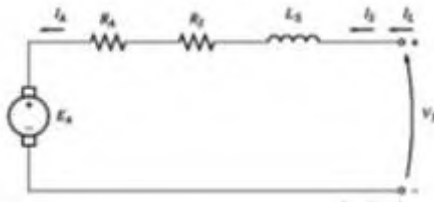
i_A = arus jangkar

R_A = tahanan kumparan jangkar

C = tetapan jangkar

N = putaran jangkar

Φ = fluks total kumparan medan



Gambar 2. 7 Rangkaian motor DC *series*
(Sumber: (Chapman, 2005))

c. Motor DC *Compound*

Motor DC *compound* atau campuran memiliki dua tipe berbeda, yaitu motor DC

Long Compound dan motor DC *Short Compound*. Pada motor tipe ini, memiliki kumparan penguat yang dililitkan seri dan paralel. Motor DC *compound* dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Motor DC *Short Compound*

Motor disuplai oleh satu sumber tegangan DC. Cocok digunakan untuk beban besar yang berubah-ubah. Jika arus medan besar, maka fluks yang dihasilkan juga besar. Persamaan yang berlaku ialah:

$$i_L = i_{SH} + i_A \dots\dots\dots(2.18)$$

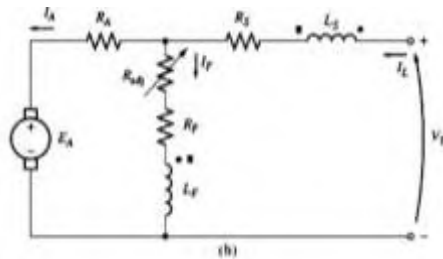
$$i_L = i_S \dots\dots\dots(2.19)$$

$$V_{SH} = I_{SH} \cdot R_{SH} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$V_S = i_S \cdot R_S = i_L \cdot R_S \dots\dots\dots(2.21)$$

$$V_{SH} = E_A + (i_A \cdot R_A) \dots\dots\dots(2.22)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots(2.23)$$



Gambar 2. 8 Rangkaian motor DC *short compound*

(Sumber: (Chapman, 2005))

- Motor DC *Long Compound*

Motor DC *long compound* disuplai oleh satu sumber tegangan DC. Persamaan yang berlaku pada motor DC long compound antara lain:

$$i_L = i_{SH} + i_A \dots\dots\dots (2.24)$$

$$i_A = i_S \dots\dots\dots (2.25)$$

$$V_{SH} = I_{SH} \cdot R_{SH} \dots\dots\dots (2.26)$$

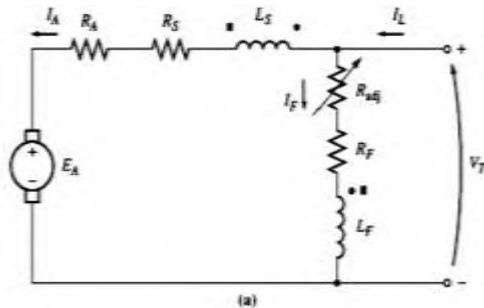
$$V_{SH} = V_T \dots\dots\dots (2.27)$$

$$V_S = i_S \cdot R_S = i_A \cdot R_S \dots\dots\dots (2.28)$$

$$V_T = E_A + (i_A \cdot R_A) + V_S \dots\dots\dots (2.29)$$

$$V_T = E_A + (i_A \cdot R_A) + (i_A \cdot R_S) \dots\dots (2.30)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots (2.31)$$



Gambar 2. 9 Rangkaian motor DC *long compound*
(Sumber: (Chapman, 2005))

2.7. Metode Pengaturan Motor DC

Berdasarkan Zuhail (1995), dari rumus umum motor DC yaitu:

$$V_T = E_A + i_A \cdot R_A \dots\dots\dots (2.32)$$

$$E_A = C \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots (2.33)$$

$$E_A = V_T - i_A \cdot R_A \dots\dots\dots (2.34)$$

$$C \cdot n \cdot \phi = V_T - i_A \cdot R_A \dots\dots\dots(2.35)$$

$$n = \frac{V_T - i_A \cdot R_A}{C \cdot \phi} \dots\dots\dots(2.36)$$

didapatkan pengaturan putaran untuk motor DC terbagi menjadi tiga macam cara, antara lain:

2.7.1. Pengaturan fluks magnet

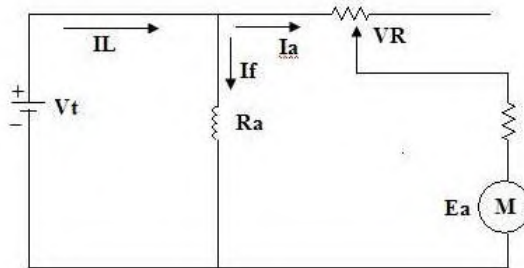
Pengaturan fluks magnet pada motor DC ialah dengan menambahkan kumparan (*variable resistance*) yang dihubungkan seri dengan kumparan medan. Karakteristik yang dimiliki dengan pengaturan putaran pada metode ini antara lain:

- Kecepatan minimum dari motor dapat diperoleh ketika *variable resistance* mendekati nol atau sama dengan nol.
- Kecepatan maksimum pada motor DC dibatasi oleh kapasitas maksimum dari gaya sentrifugal pada poros motor DC.
- Memiliki *heat losses* yang rendah.
- Mudah dan sederhana dalam pengaplikasian rangkaiannya.
- Hanya dapat diaplikasikan pada tipe motor DC *shunt* dan motor DC *long compound*.
- Range putaran nominal ke atas, nilai putaran terendah berada pada putaran nominal.

2.7.2. Pengaturan arus jangkar (*armature resistance*)

Pada pengaturan arus jangkar, *variable rheostadt* dihubungkan seri dengan kumparan

jangkar, sehingga hasil dari $I_a.R_a$ dapat diatur. Dengan mengatur hasil dari $I_a.R_a$, maka kecepatan motor dapat ditentukan. Namun, pengaturan motor DC dengan metode ini sangat jarang digunakan karena dapat meningkatkan *heat losses* pada *variable resistance*. Pada pengaturan arus jangkar, nilai putaran tertinggi berada pada putaran nominal. Kelemahan dari penggunaan metode ini ialah dapat menghasilkan *heat losses* yang tinggi.



Gambar 2. 10 Pengaturan dengan arus jangkar
(*armature resistance*)

(Sumber:

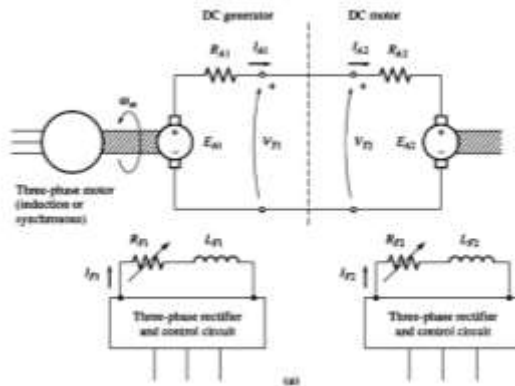
(www.automationkarawang.files.wordpress.com,
2012))

2.7.3. Pengaturan tegangan terminal

Pengaturan motor DC dengan mengatur tegangan terminal menggunakan metode Ward Leonard. Pengaturan jenis ini bisa digunakan pada industri yang memiliki proses penggulangan (*rolling process*) seperti industri kertas, industri plat baja, dll. Dengan beberapa

modifikasi, metode ini dapat diaplikasikan di kapal khususnya pada sistem propulsi dengan memanfaatkan energi listrik. Karakteristik yang dimiliki metode Ward Leonard menurut Zuhail (1995), antara lain:

- Kecepatan putar input dari generator adalah konstan dan disuplai dari motor induksi.
- Tegangan input dari motor DC dapat diatur.
- Pengaturan arus medan pada motor DC ditujukan untuk mengontrol torsi dari motor



Gambar 2. 11 Pengaturan putaran dengan metode Ward Leonard
(Sumber: (Chapman, 2005))

2.8. Karakteristik Metode Ward Leonard

Berdasarkan Leonard, H.W. (1903), karakteristik utama dari metode Ward Leonard dalam mengontrol putaran motor DC ialah kontrol putaran yang dihasilkan dengan metode ini sangat halus,

termasuk membalik putaran dengan mengatur tegangan terminal.

Selain itu, dalam pengaturan putaran motor DC metode Ward Leonard sering digunakan sebab dengan mengatur tegangan terminal, kecepatan motor DC dapat divariasikan tanpa mempengaruhi torsi maksimum (Chapman,2005).

2.9. Karakteristik Motor DC

Berdasarkan Chapman (2005), motor DC memiliki karakteristik yang dapat digambarkan melalui kurva torsi-kecepatan. Kurva torsi-kecepatan tersebut berasal dari rumusan sebagai berikut:

Hukum Kirchhoff

$$V_T = E_A + I_A R_A \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan tegangan induksi $E_A = K\Phi\omega$, sehingga

$$V_T = K\Phi\omega + I_A R_A \dots\dots\dots (2.38)$$

Karena $\tau_{ind} = K\Phi I_A$, arus I_A dapat dinyatakan sebagai berikut

$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} \dots\dots\dots (2.39)$$

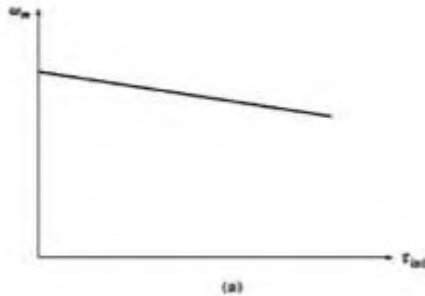
dari persamaan 2.38 dan 2.39 maka didapatkan:

$$V_T = K\Phi\omega + \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} R_A \dots\dots\dots (2.40)$$

dari beberapa persamaan di atas, maka didapatkan formula kecepatan motor sebagai berikut

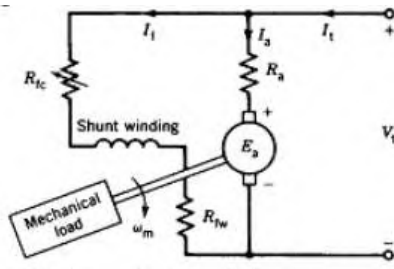
$$\omega = \frac{V_T}{K\Phi} - \frac{R_A \tau_{ind}}{(K\Phi)^2} \dots\dots\dots (2.41)$$

Sehingga kurva yang didapatkan ialah:



Gambar 2. 12 Kurva hubungan antara torsi dan kecepatan pada motor DC
(Sumber: (Chapman, 2005))

Dari gambar di atas, terlihat hubungan antara torsi dan kecepatan dari motor DC. Dari grafik tersebut terlihat bahwa hubungan antara torsi dan kecepatan putaran ialah berbanding terbalik.



Gambar 2. 13 Rangkaian ekivalen motor DC *shunt*
(Sumber: (Habibi, 2014))

2.10. Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Metode Ward Leonard

Pengaturan putaran dengan metode Ward Leonard memiliki beberapa keuntungan maupun kerugian. Berdasarkan Lister dan Eugene C (1986) metode Ward Leonard membutuhkan biaya yang mahal dan relatif tidak efisien karena adanya beberapa transformasi energi. Namun, memiliki pengendalian kecepatan yang efektif, yaitu respon terhadap perubahan kecepatannya cepat, daerah penyetelan kecepatannya luas, tersedianya pembalikan dan pengereman dinamis. Dalam penggunaannya faktor-faktor ini penting, maka kelebihan sistem Ward Leonard dapat menutupi biaya yang mahal.

2.11. Metode Perhitungan Tahanan Kapal

Dalam menghitung tahanan kapal, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, antara lain:

1. Metode Holtrop
2. Metode Guldhammer-Harvald

Dari kedua metode tersebut, dalam penelitian kali ini metode yang digunakan ialah metode Guldhammer-Harvald. Adapun langkah-langkah perhitungan tahanan kapal dengan metode Guldhammer-Harvald yaitu sebagai berikut:

a. Perhitungan Volume *Displacement* (▼)

Pertama kali yang perlu diketahui ialah dimensi utama dan karakteristik kapal untuk mencari volume dari lambung yang terendam air. Adapun persamaan untuk menghitung volume

displacement menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\nabla = Lwl \times B \times T \times Cb \dots\dots\dots (2.42)$$

dimana:

Lwl : panjang kapal yang terkena air

B : lebar kapal

Cb : koefisien blok

T : sarat air

b. Perhitungan *Displacement* (Δ)

Displacement merupakan berat kapal ketika lambung kapal pada posisi garis air.

Displacement merupakan berat kapal yang harus ditahan kapal saat berlayar.

$$\Delta = Lwl \times B \times T \times Cb \times \rho \dots\dots\dots (2.43)$$

dimana:

Lwl : panjang kapal yang terkena air

B : lebar kapal

Cb : koefisien blok

T : sarat air

ρ : massa jenis air laut

c. Luas Permukaan Basah (S)

Berdasarkan rumus Mumford (Harvald 5.5.31, Tahanan dan Propulsi kapal, hal. 133) persamaan menentukan luas permukaan basah adalah sebagai berikut:

$$S = 1,025 \times Lpp (Cb \times B + 1,7T) \dots\dots\dots (2.44)$$

d. Menentukan Harga Bilangan Froude dan Angka Reynold

Bilangan Froude : $F_n = V_s / \sqrt{(g \times L_{wl})} \dots (2.45)$

Angka Reynold : $R_n = (V_s \times L_{wl})/\nu \dots\dots\dots (2.46)$

e. Mencari C_f dari Diagram

(Harvald, 5.5.14, Tahanan dan Propulsi Kapal, hal. 119)

$C_f = 0.075/(\log R_n - 2)^2 \dots\dots\dots (2.47)$

f. Menentukan Harga C_r dari Diagram

C_r merupakan tahanan sisa yang tersimpan secara tidak terlihat. Ada beberapa macam yang bisa dihasilkan untuk menghitung tahanan sisa, yaitu:

- Badan kapal
Kapal mempunyai beberapa bentuk badan kapal tergantung dari volume *displacement* dan berat *displacement*. Untuk menentukan nilai tahanan sisa berdasarkan badan kapal digunakan grafik dari buku tahanan dan propulsi kapal dari Harvald.
- Ratio B/T
Rasio antara lebar dan tinggi sarat kapal dapat menghasilkan tahanan sisa. Besar dari tahanan sisa berdasarkan rasio B/T adalah dengan menggunakan grafik Harvald.
- Adanya Penyimpangan LCB
LCB merupakan letak titik benam suatu kapal yakni jarak antara titik ini dengan penampang tengah kapal, dimana LCB ini sangat mempengaruhi tahanan kapal, khususnya untuk kapal yang berkecepatan tinggi. Sedangkan LCB standart didefinisikan

sebagai fungsi linear bilangan Froud (F_n). Letak LCB standar dianggap merupakan letak yang memberikan tahanan yang paling kecil, maka letak yang lain pada prinsipnya akan memberikan tahanan yang lebih besar.

g. Tahanan Udara (CAA)

Tahanan udara merupakan tahanan yang diakibatkan oleh gaya gesekan badan kapal dengan udara. Koefisien tahanan udara berdasarkan grafik Harvald yaitu $0,70 \times 10^{-3}$. (Harvald 5.5.26, hal 132)

h. Tahanan Kemudi (CAS)

Tahanan kemudi disebabkan karena konstruksi kemudi yang menghambat aliran air. Berdasarkan buku Harvald, tahanan kemudi bekisar $0,04 \times 10^{-3}$. (Harvald 5.5.26, hal 132)

i. Tahanan Total

Koefisien tahanan total kapal atau C_t , dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien-koefisien tahanan kapal yang ada, sehingga:

$$C_t = C_f + C_r + C_a + C_{as} + C_{aa} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$R_t = C_t \times 0.5 \times \rho \times V_s^2 \times S \dots\dots\dots (2.49)$$

2.12. Metode Perhitungan dan Penentuan Propeller

Pada sebuah sistem propulsi, terdapat berbagai macam daya yang dibedakan berdasarkan letak

dari daya tersebut. Urutan daya dipetakan agar memudahkan dalam perkiraan pemberian daya efektif yang harus disediakan agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Selain itu juga relatif banyaknya kompone sehingga menyebabkan kehilangan daya akibat komponen transmisi. Secara empirik besaran dan satuan daya tersebut didefinisikan sebagai berikut:

2.12.1. *Effective Horse Power (EHP)*

Effective horse power (EHP) dapat disebut juga dengan daya efektif. Satuan daya dapat menggunakan *Watt*, atau daya kuda (*Horse Power*). Daya efektif dinyatakan sebagai daya yang diperlukan untuk menarik lambung kapal pada kecepatan tertentu. Secara sistematis dinyatakan sebagai:

$$EHP = R_T \times V_s \dots\dots\dots (2.50)$$

Dimana :

R_T : Tahanan total kapal (kN)

V_s : Kecepatan kapal yang direncanakan (m/s)

EHP : *Effective horse power* (kW)

2.12.2. Efisiensi Badan Kapal (η_H)

Dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) diberikan rumus untuk mencari nilai efisiensi badan kapal sebagai berikut:

$$\eta_H = (1-t)/(1-w) \dots\dots\dots (2.51)$$

Dimana :

t : fraksi deduksi gaya dorong

w: fraksi arus ikut

2.12.3. Efisiensi Relatif Rotatif (η_R)

Nilai η_R pada buku *Principles of Naval Architecture* (Lewis,1998) untuk kapal dengan propeller tipe single screw bekisar 1,0-1,1. Pada analisa kali ini, untuk perancangan propeller diambil nilai efisiensi yaitu :

$$\eta_H = 1,05 \dots \dots \dots (2.52)$$

2.12.4. Efisiensi Propulsi (η_O)

Yaitu efisiensi baling-baling untuk baling-baling dalam keadaan berada di air terbuka (*open water*). Nilainya diantara 40%-70%, dan dalam perhitungan dalam penelitian ini diambil:

$$\eta_O = 60\% \dots \dots \dots (2.53)$$

Setelah nilai dari P_c diketahui, yaitu dengan mengalikan nilai dari η_H , η_R , dan η_O maka nilai dari *Delivered Horse Power* (DHP) dapat dicari.

2.12.5. Delivered Horse Power (DHP)

Delivered horse power (DHP) ialah daya yang ditransmisikan oleh poros kepada propeller. Bagaimanapun, akan terjadi kehilangan antara daya yang ditransmisikan dari poros hingga propeller. Kehilangan ini disebabkan oleh efisiensi

propeller dalam mentransmisikan daya. Efisiensi propeller dalam mentransmisikan daya tentunya akan kurang dari 100%. Dampak lebih lanjut ialah propeller tidak dapat meneruskan keseluruhan daya yang diterima.

Sehingga *thrust power* akan berharga lebih rendah daripada *delivery power*. Hubungan antara *delivery power* dengan *thrust power* secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{DHP} = \text{EHP} / \eta_o \dots\dots\dots (2.54)$$

Dengan,

$$\text{Pc} = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o \dots\dots\dots (2.55)$$

2.12.6. Thrust Horse Power (THP)

Bilamana suatu kapal bergerak ke depan, maka aliran air yang berada di belakang propeller (pada bagian depan kapal), akan mengalami percepatan. Percepatan ini akan meningkatkan momentum air. Mengacu pada Hukum II Newton, gaya yang bekerja akan sebanding dengan percepatan yang ditimbulkan. Momentum percepatan air ini dinamakan dengan *thrust*. Hasil perkalian antara *thrust* dan kecepatan relatif aliran air terhadap propeller disebut dengan *Speed of Advance*. *Thrust power* dinyatakan dengan daya yang diterima oleh air yang diedarkan oleh propeller. *Thrust power* secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{THP} = T \times V_a \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana :

T: *Thrust* pada propeller (N)
 Va : *Speed of advance* (m/s)
 TP : *Thrust power* (watt)

Atau, *thrust power* dapat juga dinyatakan dengan:

$$THP = \frac{EHP}{\eta_H} \dots\dots\dots (2.57)$$

Dimana :
 EHP : *effective horse power* (watt atau HP)
 TP : *Thrust power* (watt atau HP)
 η_H : *Hull efficiency*

2.12.7. Shaft Horse Power (SHP)

Shaft power dinyatakan sebagai daya yang diedarkan oleh poros setelah roda gigi dan bantalan thrust (*thrust bearing*). Kehilangan daya terjadi dikarenakan adanya kehilangan pada roda gigi dan tuas kopling serta bantalan penyangga poros. Selain itu juga terdapat kehilangan pada tabung poros (*Stern tube*). Hubungan antara *shaft power* dengan *deliver power* ialah:

$$SHP = \frac{DP}{\eta_B \eta_S} = \frac{DP}{\eta_m} \dots\dots\dots (2.58)$$

Dimana :
 SHP : *Shaft power* (watt)
 DP : *Deliver power* (watt)
 η_H : Efisiensi bantalan poros
 η_S : Efisiensi tabung poros (*stern tube*)
 η_m : Efisiensi mekanis

2.12.8. Brake Horse Power (BHP)

Brake power dinyatakan sebagai daya yang dihasilkan oleh *engine*. Besar dari *brake horse power* sangat tergantung dari torsi (Q) dan putaran (n) yang dibangkitkan oleh *engine*. Harga *brake horse power* telah ditentukan oleh pembuat (*maker*) yang dinyatakan dalam sertifikat atau spesifikasi dan *name plate*.

$$\text{BHP}_{\text{scr}} = \text{SHP} / \eta_G \dots \dots \dots (2.59)$$

2.13. Metode Pemrograman MATLAB

MATLAB merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*, yang pertama kali dikenalkan oleh university of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. Software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Hingga saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkannya toolbox-toolbox. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain:

- Perhitungan matematika
- Komputasi numerik
- Simulasi dan pemodelan
- Visualisasi dan analisis data
- Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik
- Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI.



Gambar 2. 14 Tampilan awal MATLAB

Matlab dapat dipandang sebagai sebuah kalkulator dengan fitur yang lengkap. Kalkulator yang lebih lengkap lagi ialah kalkulator *scientific* dimana fasilitas yang diberikan tidak hanya penambahan, pengurangan, perkalian dan pembagian saja, melainkan sudah meliputi fungsi-fungsi trigonometri, bilangan kompleks, akar kuadrat dan logaritma. Matlab memiliki fitur yang hampir sama dengan kalkulator *scientific*, namun Matlab memiliki fitur-fitur lebih lengkap diantaranya dapat digunakan untuk melakukan pemrograman, aplikasi berbasis GUI dan lengkap beserta toolbox yang dapat dimanfaatkan untuk memecahkan masalah sains dan teknik. Dalam penelitian ini, Matlab dimanfaatkan sebagai salah satu media simulasi. Fitur yang digunakan untuk simulasi ialah SIMULINK. Simulink dalam Matlab digunakan untuk pemodelan sistem dinamis secara visual. Simulink pada Matlab memiliki banyak fungsi, misalnya berfungsi untuk mensimulasi rangkaian elektronik, *signal processing*, pemodelan persamaan differensial, dan sebagainya. Dalam penelitian, Simulink digunakan sebagai media untuk melakukan

simulasi rangkaian yang kemudian didapatkan hasil berupa grafik yang bermanfaat dalam melakukan analisa.



Gambar 2. 15 Tampilan awal SIMULINK pada
MATLAB

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi tugas akhir merupakan urutan sistematis tahapan pengerjaan tugas akhir yang dilakukan sejak dimulainya pengerjaan hingga akhir. Penulisan tugas akhir ini bersifat penelitian sehingga dibutuhkan data-data riil untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Metodologi yang digunakan penulis dalam melakukan penelitian ini secara umum dimulai dengan identifikasi permasalahan, penentuan data rangkaian motor dc sebagai objek penelitian, studi literature, pengumpulan data, melakukan simulasi dengan MATLAB, analisa performance masing-masing rangkaian, analisa pembahasan, dan diakhiri kesimpulan dan saran.

3.1.1. Identifikasi dan Perumusan masalah

Merupakan tahapan awal yang dilakukan dalam melakukan penelitian sehingga diketahui masalah apa yang akan diangkat. Dalam penulisan tugas akhir ini permasalahan yang diambil adalah perbandingan performance dari setiap variasi rangkaian motor DC sebagai sistem penggerak propulsi kapal selama berdasarkan karakteristik Ward Leonard yang disimulasikan dengan menggunakan MATLAB.

3.1.2. Penentuan Data Variasi Rangkaian Motor DC

Dalam tahapan ini ditentukan objek yang akan digunakan ialah variasi rangkaian motor DC untuk penggerak kapal selam. Beberapa

variasi rangkaian ini didapatkan dari penelitian sebelumnya yang kemudian data berikut menjadi data tunggal dalam penelitian ini.

3.1.3. Studi literatur

Pada tahapan ini dilakukan pembelajaran terhadap teori-teori yang mendukung penelitian dan akan dibahas dalam penulisan tugas akhir. Teori yang dimaksud terkait dengan teori dasar metode Ward Leonard dalam menganalisis karakteristik masing-masing rangkaian. Sumber yang digunakan sebagai acuan dapat berasal dari buku, jurnal, paper dan Internet.

3.1.4. Analisa Berdasarkan Teori Ward Leonard

Analisa awal dilakukan secara teoritis berdasarkan rumusan pada metode Ward Leonard. Analisa dilakukan pada setiap variasi rangkaian. Hasil analisa yang dilakukan berdasar rumusan tersebut akan dibandingkan dengan hasil analisa dengan menggunakan MATLAB.

3.1.5. Melakukan simulasi dengan menggunakan MATLAB

Pada tahapan ini, data rangkaian yang sudah didapatkan akan disimulasikan dengan menggunakan MATLAB. Data yang diambil dari hasil simulasi dengan MATLAB antara lain putaran yang dihasilkan masing-masing rangkaian, torsi, serta performance.

3.1.6. Analisa Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, akan didapatkan data berupa grafik yang menunjukkan hubungan torsi, putaran dan performance. Hasil grafik yang telah didapatkan tersebut akan dianalisa pada masing-masing rangkaian sebagai hasil dari penelitian yang sudah dilakukan. Analisa yang telah dilakukan dibandingkan dengan hasil analisa pada setiap rangkaian.

3.1.7. Membandingkan dengan Analisa Berdasarkan Metode Ward Leonard

Hasil dari analisa awal berdasarkan teori Perbandingan yang akan dilakukan adalah perbandingan pada masing-masing variasi rangkaian serta dilakukan perbandingan dengan analisa yang dilakukan berdasarkan rumusan pada metode Ward Leonard.

3.1.8. Analisa dan Pembahasan

Jika hasil perbandingan sesuai maka selanjutnya dilakukan analisa dan pembahasan tetapi jika perbandingan tidak sesuai maka dilakukan kaji ulang terhadap analisa berdasarkan teori maupun simulasi. Dari sini akan didapatkan hasil berupa grafik yang menunjukkan karakteristik pada masing-masing rangkaian motor DC serta hasil kesimpulan performansi setiap rangkaian.

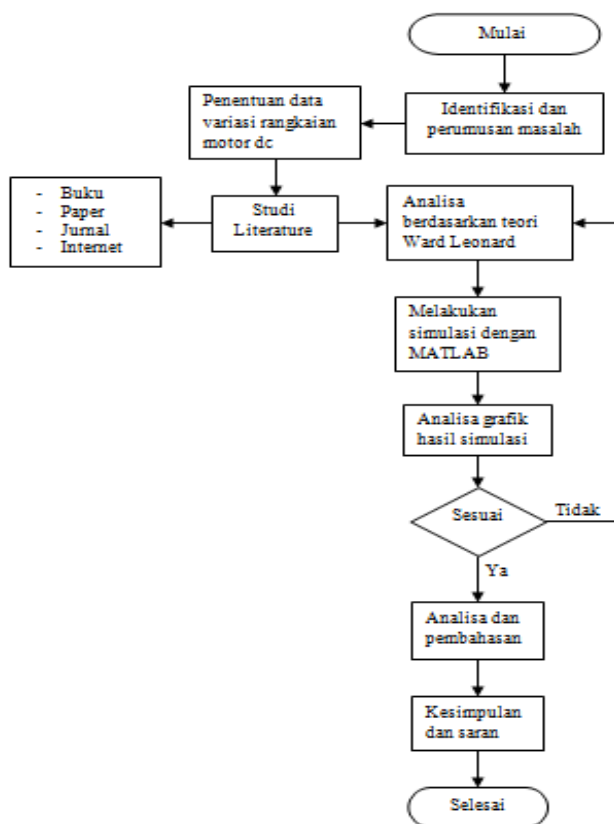
3.1.9. Validasi

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan maka hasil yang didapatkan di validasi, apakah masih ada hasil yang tidak sesuai dengan rumusan masalah awal dan apakah hasil yang didapatkan sesuai dengan teori yang digunakan. Validasi dilakukan tidak hanya pada data yang didapatkan namun evaluasi secara menyeluruh terkait metode juga tahapan pelaksanaannya.

3.1.10. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan proses analisa dan pembahasan, selanjutnya menarik kesimpulan dari hasil penelitian. Kesimpulan berdasarkan dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya adalah memberikan saran-saran yang diberikan sebagai masukan dan bahan pertimbangan pihak yang berkaitan untuk melakukan analisa lebih lanjut.

3.2. Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA

4.1. Data Kapal

Adapun dimensi utama kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah:

Panjang Seluruhnya (LOA)	: 59,57 m
Diameter dalam kapal	: 6,20 m
Tinggi (H)	: 11,34 m
Sarat Air (T)	: 5,50 m
Displacement menyelam	: 1390 m ³
Kedalaman menyelam	: 250 m
Kecepatan waktu menyelam	: 21,5 knot
Jarak jelajah (80% batt)	: 22 NM

4.2. Data Sistem Propulsi

Pada penelitian kali ini, data yang akan digunakan ialah spesifikasi dari motor DC dan baterai sebagai penggerak propulsi kapal. Adapun data spesifikasi motor DC serta baterai yang digunakan pada kapal antara lain:

4.2.1. Motor DC

- Jumlah : 1 buah
- Type : DL motor shunt 380 V, DC
- Daya : 2 x 1850 KW pada putaran propeller 200 rpm
- Konstruksi : dibuat dobel jangkar

Tugas utama motor listrik DC ialah menggerakkan kapal (maju/mundur) melalui perantara kopling-flexible (*flexible coupling*) ke

balancing atau propeller. Arus listrik diperoleh dari keempat baterai atau didapatkan secara langsung dari keempat diesel generator. Motor dibuat dobel jangkar yang dapat dirangkai seri atau paralel saat digunakan tergantung berdasarkan rezim pendorongan yang dibutuhkan.

4.2.2. Baterai

Adapun spesifikasi baterai yang digunakan pada kapal ialah:

- Jumlah : 480 cell, dibagi 4 grup (Grup I dan II di R. Batt. 1 dan Grup III dan IV di R. Batt. 2)
- Tegangan : 2-3 volt/cell
- Kapasitas : 10260 AH (27,5 kWh)
- Dimensi : (1421 x 290 x 450) mm³
- Berat : 525±2 kg

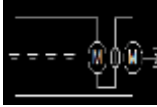

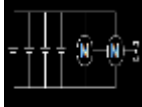
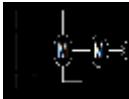
Penempatan baterai dibagi dalam 4 group, yang masing-masing group ditempatkan berjajar 6 baris. Tiap baris terdiri dari 20 cell.

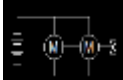

Sebagai elemen kontrol masing-masing group diambil 6 cell, yang kemudian data dapat dibaca di ruang kontrol. Tegangan nominal tiap group 240 volt, temperatur maksimal 45°C dan bisa mencapai 55°C namun hanya dalam waktu singkat.

4.3. Data Variasi Rangkaian Motor DC sebagai Penggerak Propulsi Kapal

Berikut merupakan data variasi rangkaian motor DC sebagai penggerak propulsi kapal selam. Selain gambar rangkaian terdapat pula data dari hasil penelitian sebelumnya berupa putaran, arus jangkar, dan arus penguat tiap motor.

Tabel 4.3.1. Variasi rangkaian motor DC sebagai propulsi kapal

Gambar Rangkaian	Dengan atau tanpa omvomer	Kondisi baterai	Putaran (rpm)	Arus jangkar	Arus penguat tiap motor
	dengan	penuh			
	tanpa	terpakai			
	dengan	penuh	110	54	27
	tanpa	terpakai	110	50	29
	dengan	penuh	54-75	100-860	34 -9
	tanpa	terpakai	28-75	110-1000	23-8
	dengan	penuh	52-75	100-1000	34-8
	tanpa	terpakai	50-75	80-1000	34-8
	dengan	penuh	75-111	130-1500	34-8
	tanpa	terpakai	70-221	130-1500	10-8
	dengan	penuh	70-119	200-1400	34-8
	tanpa	terpakai	75-119	200-1400	
	dengan	penuh	75-117	538-1150	25-7
	tanpa	terpakai	80-112	400-1250	30-5
	dengan	penuh	111-278	175-1660	10-6,5
	tanpa	terpakai	111-166	200-1660	10-6

Data Rangkaian	Dengan atau tanpa omvomer	Kondisi baterai	Putaran (rpm)	Arus jangkar	Arus penguat tiap motor
	dengan	Penuh	175-217	538-1150	25-6
	tanpa	terpakai	180-212	400-1250	30-5
	dengan	Penuh	111-278	175-1660	10-6,5
	tanpa	terpakai	111-166	200-1660	10-6
	dengan	penuh	111-175	520-1450	25-14
	tanpa	terpakai	111-166	450-1450	25-13
	dengan	penuh	158-200	430-2000	43-28
	tanpa	terpakai	176-200	540-2000	45-12

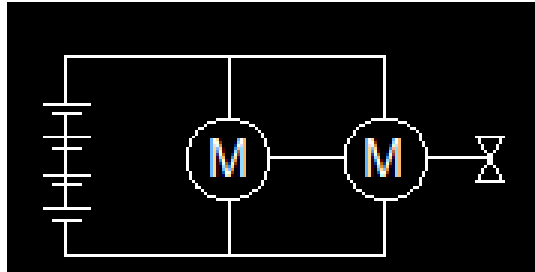
Namun, dalam penelitian kali ini, terdapat dua rangkaian motor DC yang akan dikaji yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.3.2. Variasi rangkaian motor DC yang akan dikaji

Data Rangkaian	Dengan atau tanpa omvomer	Kondisi baterai	Putaran (rpm)	Arus jangkar	Arus penguat tiap motor
	dengan	Penuh	175-217	538-1150	25-6
	tanpa	terpakai	180-212	400-1250	30-5
	dengan	Penuh	111-278	175-1660	10-6,5
	tanpa	terpakai	111-166	200-1660	10-6
	dengan	penuh	111-175	520-1450	25-14
	tanpa	terpakai	111-166	450-1450	25-13
	dengan	penuh	158-200	430-2000	43-28
	tanpa	terpakai	176-200	540-2000	45-12

Pada tabel di atas dapat dijelaskan bahwa:

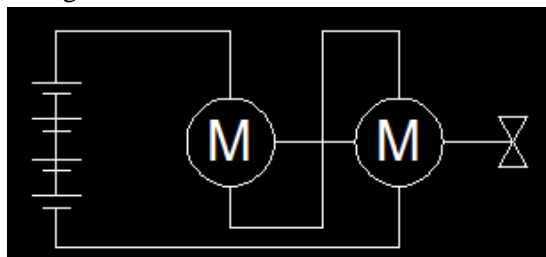
a. Rangkaian I



Gambar 4. 1 Rangkaian I motor DC

Pada rangkaian pertama, ditunjukkan bahwa motor DC dirangkai secara paralel, sedangkan terdiri dari 4 macam baterai sebagai sumber energi yang dirangkai seri.

b. Rangkaian II



Gambar 4. 2 Rangkaian II motor DC

Pada rangkaian kedua, ditunjukkan pada gambar bahwa rangkaian baterai sebagai sumber energi dirangkai secara seri, sama halnya pada rangkaian I. Namun, perbedaan terletak pada motor DC. Pada rangkaian II motor DC dirangkain secara seri.

4.4. Data Kapal Pembanding dan Perhitungan Tahanan Kapal

Data kapal pembanding dalam penelitian ini dibutuhkan untuk mencari nilai tahanan kapal. Adapun dimensi utama data kapal pembanding yang berfungsi sebagai beban untuk sistem propulsi kapal dengan menggunakan motor DC antara lain:

Lpp	: 69	m
B	: 11,8	m
H	: 5,25	m
T	: 4,7	m
Vs	: 11	knot
Lwl	: 72,45	m
Ldisplacement	: 70,725	m
Cb	: 0,69	
Cp	: 0,707	
Cm	: 0,98	

4.4.1. Detail Perhitungan

Dari data kapal pembanding yang diperoleh, maka dihitung tahanan kapal tersebut. Tahanan kapal berpengaruh kepada kecepatan yang dihasilkan oleh kapal. Berikut perhitungan tahanan kapal:

- a. Perhitungan displacement dan volume displacement

Adapun perhitungan dari volume displacement ialah:

$$\begin{aligned}
 & \text{- Volume displacement} \\
 & \quad \nabla = Lwl \times B \times T \times Cb \\
 & \quad = 2798,1888 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan dari displacement ialah:

- Displacement

$$\Delta = Lwl \times B \times T \times Cb \times \rho$$

$$= 2868,1435 \text{ ton}$$

b. Luas permukaan basah (S)

Untuk mencari luas permukaan basah, formula yang digunakan mengacu pada rumus yang terdapat dalam buku Harvald 5.5.31, Tahanan dan Propulsi Kapal, hal.133, yaitu:

$$S = 1,025 \times Lpp (Cb \times B + 1,7T)$$

$$= 1146,28 \text{ m}^2$$

c. Perhitungan bilangan Froud (*Froud Number*) dan bilangan Reynold (*Reynold Number*)

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari bilangan froud dan bilangan reynold:

$$\begin{aligned} - Fn &= Vs / \sqrt{(g \times Lwl)} \\ &= 0,212370985 \\ - Rn &= (Vs \times Lwl)/\nu \\ &= 389081500 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Cf

Untuk menghitung Cf formula yang digunakan mengacu pada buku Harvald, 5.5.14, Tahanan dan Propulsi Kapal, hal. 119, yaitu:

$$Cf = 0.075/(\log Rn - 2)^2$$

$$= 0,001726971$$

e. Mendapatkan nilai koefisien tahanan sisa (Cr)

Tahanan sisa diperoleh melalui diagram Guldhammer-Harvald, yaitu dengan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Lwl/\nabla^{1/3} &= 5,141 \\ \text{koefisien prismatik } (\varphi) &= 0,708 \end{aligned}$$

Tabel 4.4.1. Interpolasi diagram Guldhammer-Harvald

No	a	b
	$Lwl/\nabla^{1/3}$	$10^3 Cr$
1	4,5	1,2
2	5,14	x
3	5	0,98

Dalam mencari nilai tahanan sisa, data yang mempengaruhi dalam pembacaan diagram Guldhammer-Harvald antara lain perbandingan antara garis air dengan volume displacement, koefisien prismatik serta bilangan Froud (*Froud Number*). Dari diagram Guldhammer-Harvald diperoleh nilai interpolasi yang ditunjukkan pada tabel di atas. Dari nilai interpolasi didapatkan:

$$\text{Interpolasi} = \frac{x-1,2}{0,98-1,2} = \frac{4,58-4,5}{5-4,5}$$

$$10^3 Cr = 1,23520$$

$$\text{Jadi, } Cr_1 = 0,0012352$$

f. Bentuk Badan Kapal

Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa kurva tahanan Guldhammer-Harvald dianggap

berlaku untuk kapal yang memiliki bentuk “standart”, yaitu penambangnya bukan yang benar-benar memiliki bentuk U atau V. Oleh karena itu, dalam perancangan ini tidak perlu dilakukan koreksi karena bentuk kapalnya standart.

g. Koreksi B/T

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat (B/T)=2,5 maka harga Cr untuk kapal yang mempunyai rasio lebar-sarat lebih besar atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi, sesuai pada buku Tahanan dan Propulsi Kapal SV. AA Harvald hal. 119. Berikut perhitungan rasio B/T:

$$\begin{aligned} B/T &= 2,510638 \\ Cr_1 &= 0,0012352 \\ 10^3 Cr_2 &= 10^3 Cr_1 + 0,16(B/T - 2,5) \\ 10^3 Cr_2 &= 1,236902 \\ \text{Jadi, } Cr_2 &= 0,001237 \end{aligned}$$

h. Koreksi LCB

Berikut perhitungan untuk melakukan koreksi LCB berdasarkan buku Harvald 5.5.15., Tahanan dan Propulsi Kapal, hal. 130:

LCB diperoleh dari rencana garis

$$\begin{aligned} e\% &= 1,045\% && \text{di depan midship} \\ L_{disp} &= 70,725 && \text{meter} \\ e\% \times L_{disp} &= 0,7390 && \text{meter} \\ Lcb_{Std} &= 0,30\% \\ &= 0,2121 && \text{meter di depan} \\ &&& \text{midship} \end{aligned}$$

Karena letak Lcb kapal di depan Lcb standar, maka harus dilakukan koreksi sebagai berikut:

$$\Delta LCB = LCB - LCB_{standart}$$

$$= 1,045\% - 0,3\%$$

$$= 0,75\%$$

$$10^3 Cr_3 = 10^3 Cr_{(standart)} + (d10^3 Cr / dLCB) \times \Delta LCB$$

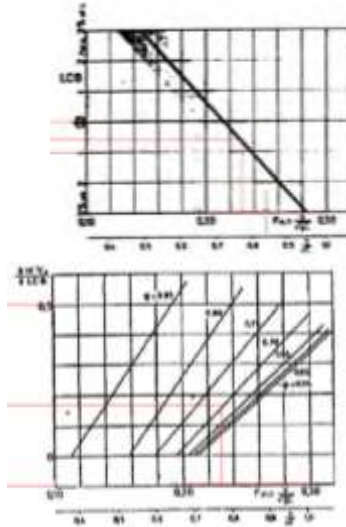
$$10^3 Cr_3 = 1,23802$$

$$\text{Jadi, } Cr_3 = 0,001238$$

Dengan

$$(d10^3 Cr / dLCB) = 0,15$$

(didapat dari diagram 5.5.16 Harvald)



Gambar 4. 3 Grafik LCB

i. Anggota badan kapal

Koreksi boss propeller didapatkan dari buku Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal, hal. 132.

Untuk kapal penuh Cr dinaikkan sebesar 3-5%, diambil 5%. Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} Cr_4 &= (1+5\%) \times Cr_{\text{standart}} \\ &= 0,00129696 \end{aligned}$$

j. Menghitung koefisien tahanan tambahan (Ca)

Displasmen Kapal	C_A
1.000 t	0.6×10^{-3}
10.000 t	0.4×10^{-3}
100.000 t	0
1.000.000 t	-0.6×10^{-3}

Gambar 4. 4 Harga Ca pada displasement tertentu

Karena L kapal lebih kecil dari 100 m, maka x bernilai 0,4. Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} x &= 0,4 \\ 10^3 CA &= 0,4 \\ CA &= 0,0004 \end{aligned}$$

k. Tahanan udara (C_{aa}) dan tahanan kemudi (C_{as})

Karena data mengenai angin dalam perancangan kapal tidak diketahui, maka disarankan untuk mengoreksi koefisien tahanan udara (Harvald 5.5.26, hal. 132). Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} 10^3 C_{aa} &= 0,07 \\ C_{aa} &= 0,00007 \end{aligned}$$

Dan untuk tahanan kemudi sekitar:

$$\begin{aligned} 10^3 \text{Cas} &= 0,04 \\ \text{Cas} &= 0,00004 \end{aligned}$$

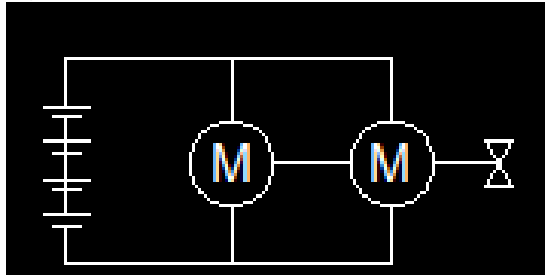
1. Menghitung tahanan total kapal

Koefisien tahanan total kapal atau C_t , dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien-koefisien tahanan kapal yang ada, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} C_t &= C_f + C_r + C_a + C_{as} + C_{aa} \\ &= 0,0035339 \\ R_t &= C_t \times 0.5 \times \rho \text{ airlaut} \times V_s^2 \times S \\ &= 66,4808 \text{ kN} \end{aligned}$$

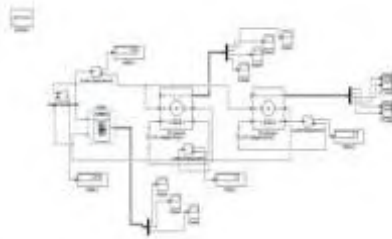
4.5. Simulasi Rangkaian Motor DC dengan menggunakan MATLAB

4.5.1. Rangkaian I



Gambar 4. 5 Rangkaian I Motor DC

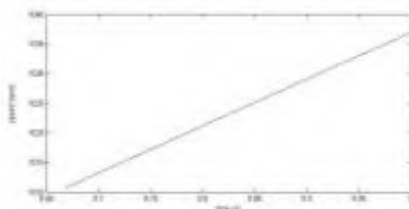
Gambar 4.5.1. menunjukkan gambar rangkaian I motor DC. Gambar skematik rangkaian motor DC tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam membuat rangkaian dengan menggunakan Simulink-Matlab sebelum dilakukan simulasi. Berikut hasil rangkaian dengan menggunakan Simulink-Matlab:



Gambar 4. 6 Rangkaian I Motor DC dengan Simulink

Dari gambar 4.6. rangkaian motor DC paralel dengan menggunakan simulink, terdapat output berupa grafik. Simulasi dilakukan dalam waktu 10 sekon. Terdapat beberapa data yang harus diinput, antara lain besar tegangan pada masing-masing baterai, dan putaran sesuai dengan tabel 4.3.2. Dalam rangkaian ini, tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian seri pada baterai sebesar 380 V dengan 10260 AH. Setelah program dijalankan atau dilakukan *running program* didapatkan hasil grafik, antara lain grafik arus medan, arus jangkar, putaran dan torsi. Berikut hasil simulasi pada rangkaian I:

a. Grafik putaran

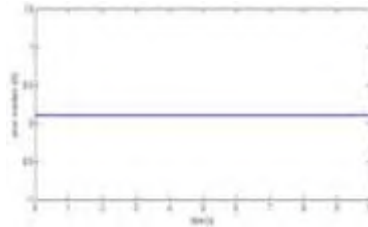


Gambar 4. 7 Grafik putaran pada rangkaian I

Pada gambar 4.7 grafik putaran dengan waktu simulasi berbanding lurus. Putaran kan

semakin bertambah seiring dengan lamanya waktu simulasi. Ketika waktu simulasi menunjukkan 10 sekon, putaran yang dihasilkan semakin meningkat yaitu 0 rpm; 115 rpm; 230 rpm; 345 rpm; 460 rpm; 575 rpm; 690 rpm; 805 rpm; 920 rpm; 1035 rpm; 1100 rpm; 1265 rpm; 1380 rpm; 1495 rpm; 1610 rpm; 1725 rpm; 1840 rpm; 1955 rpm; 2070 rpm; 2185 rpm; 2254 rpm; dan 2300 rpm.

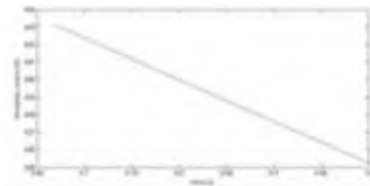
b. Grafik arus medan



Gambar 4. 8 Grafik arus medan pada rangkaian I

Pada gambar 4.8 grafik arus medan menunjukkan nilai arus medan pada rangkaian I. Nilai arus medan pada rangkaian I bernilai konstan.

c. Grafik arus jangkar

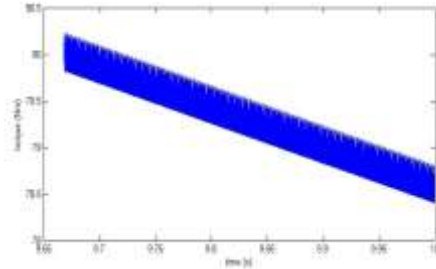


Gambar 4. 9 Grafik arus jangkar pada rangkaian I

Pada gambar 4.9 grafik arus jangkar menunjukkan penurunan nilai arus jangkar.

Sehingga semakin lama waktu simulasi maka nilai arus jangkar semakin turun.

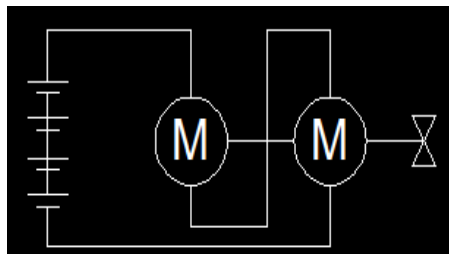
d. Grafik torsi



Gambar 4. 10 Grafik torsi pada rangkaian I

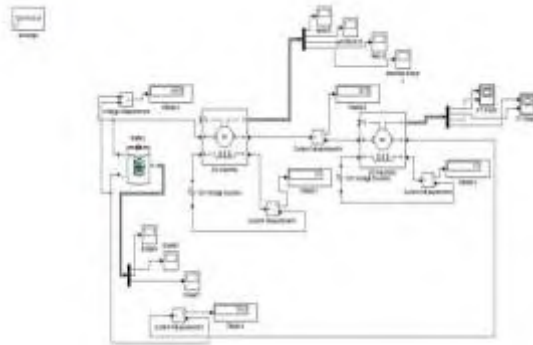
Pada gambar 4.10 grafik torsi menunjukkan nilai torsi yang dihasilkan pada rangkaian I. Pada rangkaian I setelah dilakukan simulasi, nilai torsi yang dihasilkan semakin turun yaitu 0 Nm; 125 Nm; 122,50 Nm; 118,75 Nm; 112,50 Nm; 106,25 Nm; 100,00 Nm; 93,75 Nm; 87,50 Nm; 81,25 Nm; 75,00 Nm; 68,75 Nm; 62,50 Nm; 56,25 Nm; 50,00 Nm; 43,75 Nm; 37,50 Nm; 31,25 Nm; 25,00 Nm; 18,75 Nm; 12,50 Nm; 6,25 Nm.

4.5.2. Rangkaian II



Gambar 4. 11 Rangkaian II motor DC

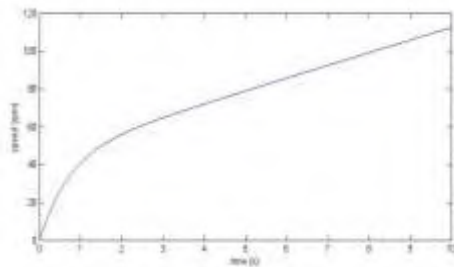
Pada rangkaian kedua, ditunjukkan pada gambar 4.11. bahwa rangkaian baterai sebagai sumber energi dirangkai secara seri, sama halnya pada rangkaian I. Namun, perbedaan terletak pada motor DC. Pada rangkaian II motor DC dirangkain secara seri.



Gambar 4. 12 Rangkaian II pada Simulink-Matlab

Pada rangkaian II, ditunjukkan pada gambar 4.12 bahwa baterai yang digunakan dirangkai seri dengan motor DC yang dirangkai secara paralel. Simulasi dilakukan dalam waktu 10 sekon, dengan data yang dimasukkan sama dengan simulasi yang dilakukan pada rangkaian sebelumnya, yaitu data putaran dan data voltage baterai sebagai input, sedangkan didapatkan hasil grafik yaitu grafik putaran, grafik arus jangkar, grafik arus medan serta grafik torsi dari rangkaian sebagai output. Berikut grafik yang sudah didapatkan dari hasil simulasi yang sudah dilakukan:

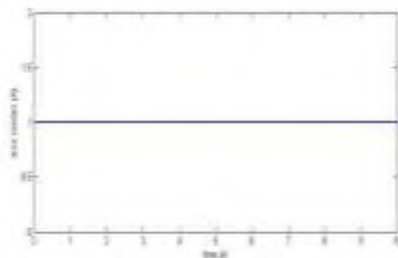
a. Grafik putaran



Gambar 4. 13 Grafik putaran pada rangkaian II

Gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai putaran pada rangkain II meningkat ketika simulasi dijalankan. Nilai putaran berbanding lurus dengan waktu simulasi. dengan nilai putaran yang dihasilkan motor d.c dari rangkaian II, setelah dilakukan simulasi putaran motor dc pada rangkaian II semakin meningkat yaitu 0 rpm; 135 rpm; 270 rpm; 405 rpm; 540 rpm; 675 rpm; 810 rpm; 945 rpm; 1086 rpm; 1215 rpm; 1350 rpm; 1485 rpm; 1620 rpm; 1755 rpm; 1890 rpm; 2025 rpm; 2160 rpm; 2295 rpm; 2430 rpm; 2565 rpm; 2646 rpm; 2700 rpm.

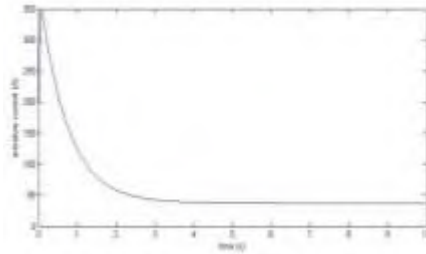
b. Grafik arus medan



Gambar 4. 14 Grafik arus medan pada rangkaian II

Pada gambar 4.14 menunjukkan grafik nilai arus medan pada rangkaian II. Nilai arus medan pada rangkaian II bernilai konstan.

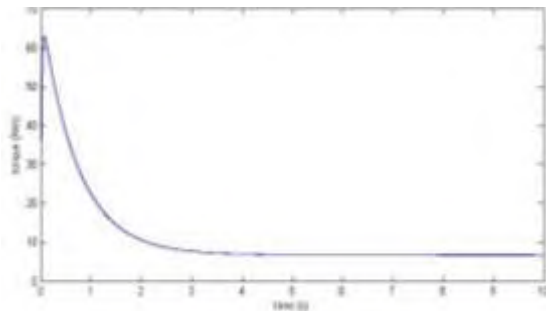
c. Grafik arus jangkar



Gambar 4. 15 Grafik arus jangkar pada rangkaian II

Pada gambar 4.15 menunjukkan grafik penurunan nilai arus jangkar. Arus jangkar pada rangkaian I mengalami penurunan, namun kemudian arus jangkar bernilai konstan.

d. Grafik torsi



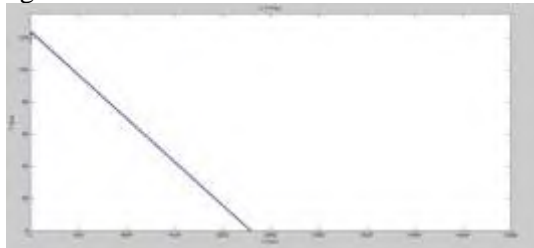
Gambar 4. 16 Grafik torsi pada rangkaian II

Pada gambar 4.16 menunjukkan grafik nilai torsi yang dihasilkan pada rangkaian II. Nilai torsi pada rangkaian I mengalami penurunan, yaitu 0 Nm; 62,64 Nm; 61,38 Nm; 59,50 Nm; 56,37 Nm; 53,24 Nm; 50,11 Nm; 46,98 Nm; 43,85 Nm; 40,71 Nm; 37,58 Nm; 34,45 Nm; 31,32 Nm; 28,19 Nm; 25,05 Nm; 21,92 Nm; 18,79 Nm; 15,66 Nm; 12,53 Nm; 9,40 Nm; 6,26 Nm; 3,18 Nm. Namun, terdapat perbedaan nilai torsi pada rangkaian I dan rangkaian II. Nilai torsi rangkaian I hampir dua kali lipat lebih besar dari nilai torsi pada rangkaian II.

4.6. Detail Perhitungan Rangkaian I dan Rangkaian II

4.6.1. Data putaran dan nilai torsi motor DC

Dari simulasi dengan MATLAB yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan grafik hubungan torsi motor DC pada masing-masing putaran sebagai berikut:



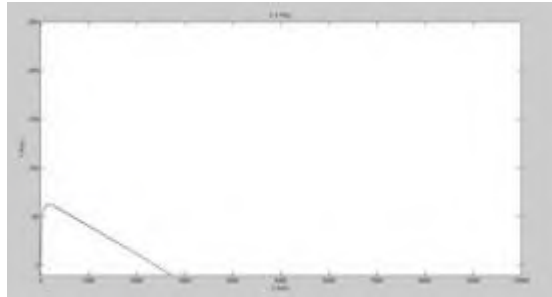
Gambar 4. 17 grafik torsi vs putaran motor dc rangkaian I

Dari gambar 4.17 grafik hubungan torsi dengan putaran motor DC rangkaian I, didapatkan nilai torsi pada putaran tertentu. Pada grafik ditunjukkan bahwa nilai torsi berbanding terbalik dengan putaran. Ketika putaran pada motor semakin tinggi, maka nilai torsi semakin turun. Berikut data nilai torsi pada putaran tertentu yang sudah didapatkan dari hasil simulasi MATLAB:

Tabel 4.6.1. Data rangkaian I motor DC

Speed (RPM)	Torque (Nm) Paralel	Torque (ft-lb) Paralel
0	0,00	0,00
28	122,21	90,14
57	122,83	90,59
86	120,14	88,61
114	117,85	86,92
142	116,17	85,68
171	114,69	84,59
678	87,00	64,17
1187	59,62	43,97
1700	32,00	23,60
2215	4,56	3,36
2300	0,00	0,00
2700		

Sedangkan pada rangkaian kedua dilakukan hal sama dengan simulasi pada rangkaian pertama. Berikut grafik hasil simulasi pada rangkaian II:



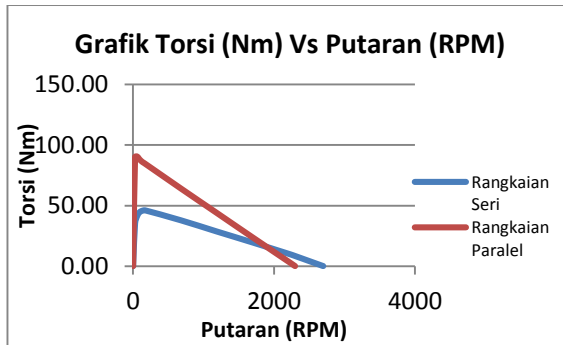
Gambar 4. 18 grafik torsi vs putaran motor dc rangkaian II

Dari gambar 4.18 menunjukkan grafik hubungan torsi dan putaran pada rangkaian II berbanding terbalik, sama dengan rangkaian sebelumnya. Berikut data nilai torsi pada putaran tertentu yang sudah didapatkan dari hasil simulasi MATLAB:

Tabel 4.6.2. Data rangkaian II motor DC

Speed (RPM)	Torque (Nm)	Torque (ft-lb)
	Seri	Seri
0	0,00	0,00
28	48,01	35,41
57	56,11	41,38
86	60,03	44,28
114	61,64	45,46
142	62,42	46,04
171	62,64	46,20
678	51,44	37,94
1187	38,89	28,68
1700	26,47	19,52
2215	13,64	10,06
2300	11,35	8,37
2700	0,00	0,00

Berikut gambar grafik hubungan torsi dan putaran pada masing-masing rangkaian:



Gambar 4. 19 grafik torsi vs putaran motor dc masing-masing rangkaian

Pada gambar 4.19 menunjukkan grafik hubungan torsi dengan putaran pada masing-masing rangkaian. Pada rangkaian II nilai torsi hasil simulasi menunjukkan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai torsi pada rangkaian pertama dengan nilai putaran yang sama antara rangkaian I dengan rangkaian II. Hal ini disebabkan karena motor dc pada rangkaian I dipasang secara paralel, sedangkan motor dc pada rangkaian II dipasang seri. Ketika motor dc dipasang paralel maka tegangan yang masuk pada masing-masing motor bernilai penuh. Sedangkan ketika motor dipasang seri, tegangan yang masuk pada motor pertama dan kedua memiliki nilai yang berbeda.

4.6.2. Detail Perhitungan Kecepatan Kapal dengan Rangkaian I

Dari data tabel 4.6.1 putaran motor dc divariasikan dengan perbedaan interval 5% pada

setiap kenaikannya, sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.6.3. Data data variasi putaran motor dc pada rangkaian I

n motor (%)	n Motor DC
0%	0
5%	115
10%	230
15%	345
20%	460
25%	575
30%	690
35%	805
40%	920
45%	1035
50%	1150
55%	1265
60%	1380
65%	1495
70%	1610
75%	1725
80%	1840
85%	1955
90%	2070
95%	2185
98%	2254
100%	2300

a. Perhitungan putaran propeller

Dari tabel 4.6.3 berupa variasi rangkaian kecepatan pada rangkaian I, dihitung putaran pada propeller dengan propeller yang sudah dipilih. Pemilihan propeller dilakukan sebelumnya pada tugas perancangan sistem propulsi kapal. Berikut data propeller yang telah dipilih:

Tabel 4.6.4. Data propeller yang telah dipilih

type	B3-35
Db	2,915
P/Db	0,771
η_p	0,600
n	174
ratio :	13,23893

Dengan demikian didapatkan nilai putaran propeller dengan cara putaran motor dc dibagi dengan ratio putaran propeller dengan detail perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 n_{propeller} &= \frac{n_{motor\ dc}}{ratio} = \frac{115}{13,23893} \\
 &= 8.69\ rpm \\
 n_{propeller} &= \frac{8,69}{60} = 0,14\ rps
 \end{aligned}$$

Dari formula di atas, dilakukan perhitungan pada masing-masing variasi putaran motor dc. Sehingga didapatkan putaran propeller dari setiap variasi putaran motor dc sebagai berikut:

Tabel 4.6.5. nilai putaran propeller pada rangkaian I

n motor (%)	n Motor DC	N propeler	
		n (rpm)	n (rps)
0%	0	0,00	0,00
5%	115	8,69	0,14
10%	230	17,37	0,29
15%	345	26,06	0,43
20%	460	34,75	0,58
25%	575	43,43	0,72
30%	690	52,12	0,87
35%	805	60,81	1,01
40%	920	69,49	1,16
45%	1035	78,18	1,30
50%	1150	86,87	1,45
55%	1265	95,55	1,59
60%	1380	104,24	1,74
65%	1495	112,92	1,88
70%	1610	121,61	2,03
75%	1725	130,30	2,17
80%	1840	138,98	2,32
85%	1955	147,67	2,46
90%	2070	156,36	2,61
95%	2185	165,04	2,75
98%	2254	170,26	2,84
100%	2300	173,73	2,90

b. Perhitungan *Delivered horse power (DHP)*, *Shaft horse power (SHP)*, *Brake horse power (BHP)*, dan kecepatan (Vs)

- ***Delivered horse power (DHP)***

Nilai delivered horse power (DHP) didapatkan dari perkalian antara torsi dan putaran. Berikut detail perhitungan nilai DHP:

$$DHP = 2\pi Qn$$

$$DHP = 2 \times \frac{22}{7} \times 125 \text{ Nm} \times 115 \text{ rpm}$$

$$= 90357,14 \text{ watt}$$

- ***Shaft horse power (SHP)***

$$SHP = DHP/\mu_s$$

$$SHP = \frac{90357,14 \text{ watt}}{0,98}$$

$$= 92201,17 \text{ watt}$$

- **Brake horse power (BHP)**

$$BHP = SHP/\mu_G$$

$$BHP = \frac{92201,17 \text{ watt}}{0,98}$$

$$= 94082,82 \text{ watt}$$

$$= 94,08 \text{ kW}$$

- **Kecepatan advance dan Vs (knot)**

$$Va = d_{prop} \times k_{coef} \cdot J \times n_{prop}$$

$$Va = 2,915 \times 0,495 \times 0,14 = 0,21$$

$$Vs = \frac{Va}{(1 - w)}$$

$$Vs = \frac{0,21}{(1 - 0,2982)} = 0,3 \text{ m/s}$$

$$Vs = \frac{0,3}{0,5144} = 0,58 \text{ knot}$$

Dari detail perhitungan di atas, dengan metode perhitungan yang sama maka didapatkan nilai DHP, SHP, BHP, Va, dan Vs dalam m/s maupun dalam knot pada masing-masing rangkaian motor dc yaitu pada rangkaian I atau rangkaian paralel, dan rangkaian II atau rangkaian seri dalam tabel berikut:

Tabel 4.6.6. perhitungan daya dan kecepatan rangkaian I

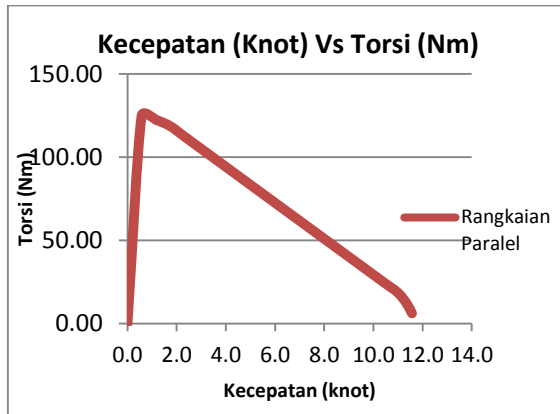
n motor (%)	n Motor DC	N propeler		Q (Nm)	DHP(watt)	SHP (watt)	BHP(watt)	BHP(kW)	Va	Vs (m/s)	Vs (Knot)
		n (rpm)	n (rps)		(2nQn)	(DHP/ r/s)					
0%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5%	115	8,69	0,14	125,00	90357,14	92201,17	94082,82	94,08	0,21	0,30	0,58
10%	230	17,37	0,29	122,50	177100,00	180714,29	184402,33	184,40	0,42	0,60	1,16
15%	345	26,06	0,43	118,75	257517,86	262773,32	268136,04	268,14	0,63	0,89	1,74
20%	460	34,75	0,58	112,50	325285,71	331924,20	338698,16	338,70	0,84	1,19	2,31
25%	575	43,43	0,72	106,25	384017,86	391854,96	399852,00	399,85	1,04	1,49	2,89
30%	690	52,12	0,87	100,00	433714,29	442565,60	451597,55	451,60	1,25	1,79	3,47
35%	805	60,81	1,01	93,75	474375,00	484056,12	493934,82	493,93	1,46	2,08	4,05
40%	920	69,49	1,16	87,50	506000,00	516326,53	526863,81	526,86	1,67	2,38	4,63
45%	1035	78,18	1,30	81,25	528589,29	539376,82	550384,51	550,38	1,88	2,68	5,21
50%	1150	86,87	1,45	75,00	542142,86	553207,00	564496,94	564,50	2,09	2,98	5,79
55%	1265	95,55	1,59	68,75	546660,71	557817,06	569201,08	569,20	2,30	3,27	6,37
60%	1380	104,24	1,74	62,50	542142,86	553207,00	564496,94	564,50	2,51	3,57	6,94
65%	1495	112,92	1,88	56,25	528589,29	539376,82	550384,51	550,38	2,72	3,87	7,52
70%	1610	121,61	2,03	50,00	506000,00	516326,53	526863,81	526,86	2,92	4,17	8,10
75%	1725	130,30	2,17	43,75	474375,00	484056,12	493934,82	493,93	3,13	4,46	8,68
80%	1840	138,98	2,32	37,50	433714,29	442565,60	451597,55	451,60	3,34	4,76	9,26
85%	1955	147,67	2,46	31,25	384017,86	391854,96	399852,00	399,85	3,55	5,06	9,84
90%	2070	156,36	2,61	25,00	325285,71	331924,20	338698,16	338,70	3,76	5,36	10,42
95%	2185	165,04	2,75	18,75	257517,86	262773,32	268136,04	268,14	3,97	5,66	10,99
98%	2254	170,26	2,84	12,50	177100,00	180714,29	184402,33	184,40	4,09	5,83	11,34
100%	2300	173,73	2,90	6,25	90357,14	92201,17	94082,82	94,08	4,18	5,95	11,57

Tabel 4.6.7. perhitungan daya dan kecepatan rangkaian II

n Engine (%)	n Motor DC	N propeler		Q (Nm)	DHP(watt)	SHP (watt)	BHP(watt)	BHP(kW)	Va	Vs	Vs (Knot)
		n (rpm)	n (rps)		(2nQn)	(DHP/ r/s)					
0%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5%	135	8,69	0,14	62,64	53151,12	54235,84	55342,69	55,34	0,21	0,30	0,58
10%	270	17,37	0,29	61,38	104176,20	106302,25	108471,68	108,47	0,42	0,60	1,16
15%	405	26,06	0,43	59,50	151480,70	154572,14	157726,68	157,73	0,63	0,89	1,74
20%	540	34,75	0,58	56,37	191344,04	195249,02	199233,70	199,23	0,84	1,19	2,31
25%	675	43,43	0,72	53,24	225892,27	230502,32	235206,45	235,21	1,04	1,49	2,89
30%	810	52,12	0,87	50,11	255125,39	260332,03	265644,93	265,64	1,25	1,79	3,47
35%	945	60,81	1,01	46,98	279043,40	284738,16	290549,14	290,55	1,46	2,08	4,05
40%	1080	69,49	1,16	43,85	297646,29	303720,71	309919,09	309,92	1,67	2,38	4,63
45%	1215	78,18	1,30	40,71	310934,07	317279,67	323754,76	323,75	1,88	2,68	5,21
50%	1350	86,87	1,45	37,58	318906,74	325415,04	332056,16	332,06	2,09	2,98	5,79
55%	1485	95,55	1,59	34,45	321564,30	328126,83	334823,30	334,82	2,30	3,27	6,37
60%	1620	104,24	1,74	31,32	318906,74	325415,04	332056,16	332,06	2,51	3,57	6,94
65%	1755	112,92	1,88	28,19	310934,07	317279,67	323754,76	323,75	2,72	3,87	7,52
70%	1890	121,61	2,03	25,05	297646,29	303720,71	309919,09	309,92	2,92	4,17	8,10
75%	2025	130,30	2,17	21,92	279043,40	284738,16	290549,14	290,55	3,13	4,46	8,68
80%	2160	138,98	2,32	18,79	255125,39	260332,03	265644,93	265,64	3,34	4,76	9,26
85%	2295	147,67	2,46	15,66	225892,27	230502,32	235206,45	235,21	3,55	5,06	9,84
90%	2430	156,36	2,61	12,53	191344,04	195249,02	199233,70	199,23	3,76	5,36	10,42
95%	2565	165,04	2,75	9,40	151480,70	154572,14	157726,68	157,73	3,97	5,66	10,99
98%	2646	170,26	2,84	6,26	104176,20	106302,25	108471,68	108,47	4,09	5,83	11,34
100%	2700	173,73	2,90	3,13	53151,12	54235,84	55342,69	55,34	4,18	5,95	11,57

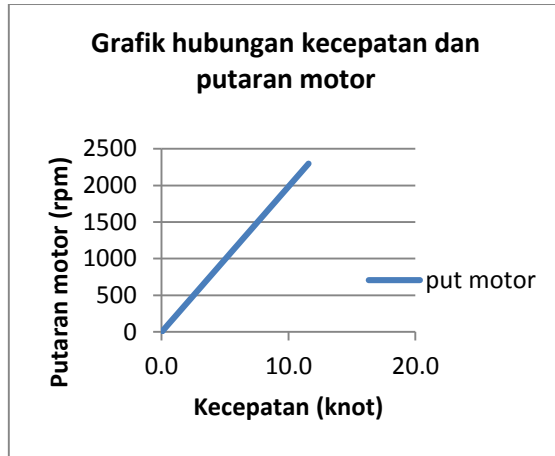
4.7. Analisa Grafik

4.7.1 Rangkaian I atau Rangkaian Paralel



Gambar 4. 20 grafik torsi vs kecepatan (knot) rangkaian I

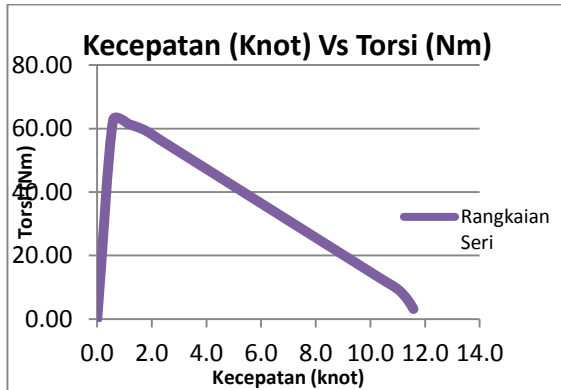
Pada gambar 4.20 menunjukkan hubungan grafik torsi dengan kecepatan (knot) pada rangkaian paralel. Berdasarkan grafik tersebut, nilai torsi berbanding terbalik dengan nilai kecepatan. Ketika kecepatan kapal sebesar 11,57 knot, nilai torsi yang dihasilkan 6,25 Nm. Nilai torsi tertinggi yaitu 125,00 Nm berada ketika nilai kecepatan 0,58 knot. Hal ini dipengaruhi oleh nilai arus jangkar (I_a) ketika I_a bernilai minimum, maka putaran yang dihasilkan akan maksimum dan torsi yang dihasilkan minimum. Karena, torsi berbanding lurus dengan nilai I_a .



Gambar 4. 21 grafik kecepatan (knot) vs putaran rangkaian I

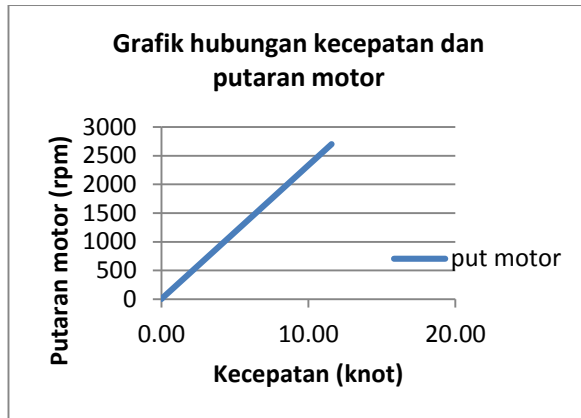
Pada gambar 4.21 menunjukkan hubungan grafik putaran, dan kecepatan pada rangkaian paralel. Pada kecepatan 11,57 knot, putaran motor bernilai 2300 rpm. Dan, ketika kecepatan kapal 0,58 knot, putaran yang dihasilkan motor sebesar 115 rpm. Sehingga, kecepatan maksimum kapal, berada pada putaran maksimum motor dan begitu juga sebaliknya, kecepatan minimum kapal terjadi ketika putaran motor berada pada putaran atau rpm minimum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa, hubungan antara kecepatan kapal dan putaran motor ialah berbanding lurus.

4.7.2 Rangkaian II atau Rangkaian Seri



Gambar 4. 22 grafik torsi vs kecepatan (knot) vs putaran rangkaian II

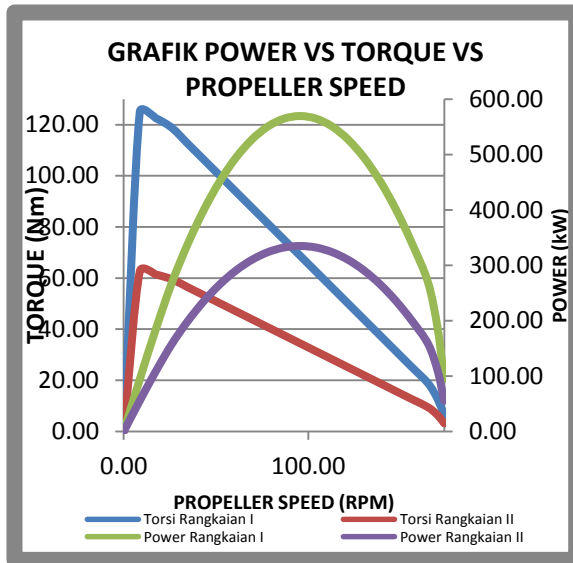
Pada gambar 4.22 menunjukkan hubungan grafik torsi dengan kecepatan (knot) pada rangkaian seri. Berdasarkan grafik tersebut, nilai torsi berbanding terbalik dengan nilai kecepatan. Ketika kecepatan kapal sebesar 11,57 knot, nilai torsi yang dihasilkan 3,13 Nm. Nilai torsi tertinggi yaitu 62,64 Nm berada ketika nilai kecepatan 0,58 knot. Hal ini dipengaruhi oleh nilai arus jangkar (I_a) ketika I_a bernilai minimum, maka putaran yang dihasilkan akan maksimum dan torsi yang dihasilkan minimum. Karena, torsi berbanding lurus dengan nilai I_a .



Gambar 4. 23 grafik kecepatan (knot) vs putaran rangkaian II

Pada gambar 4.23 menunjukkan hubungan grafik putaran, dan kecepatan pada rangkaian seri. Pada kecepatan 11,57 knot, putaran motor bernilai 2700 rpm. Dan, ketika kecepatan kapal 0,58 knot, putaran yang dihasilkan motor sebesar 135 rpm. Sehingga, kecepatan maksimum kapal, berada pada putaran maksimum motor dan begitu juga sebaliknya, kecepatan minimum kapal terjadi ketika putaran motor berada pada putaran atau rpm minimum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa, hubungan antara kecepatan kapal dan putaran motor ialah berbanding lurus.

4.7.3 Grafik hubungan rangkaian I dan rangkaian II

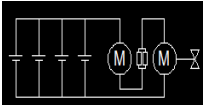
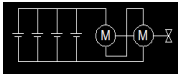
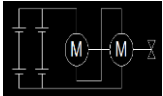


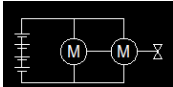
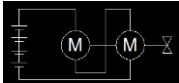
Gambar 4. 24 grafik power, torsi dan putaran propeller dari rangkaian I dan rangkaian II

Pada gambar 4.24 menunjukkan hubungan grafik power, torsi dan putaran propeller pada rangkaian I dan rangkaian II. Ketika nilai putaran pada propeller mencapai nilai maksimum yaitu 2300 rpm pada rangkaian paralel dan 2700 pada rangkaian seri, nilai torsi menunjukkan nilai yang sebaliknya yaitu 125 Nm untuk rangkaian paralel dan 62,64 Nm untuk rangkaian seri. Sehingga hubungan antara torsi dengan putaran yang dihasilkan propeller ialah berbanding terbalik. Pada rangkaian I atau rangkaian paralel, nilai torsi yang dihasilkan mencapai dua kali lipat lebih besar dibandingkan dengan nilai torsi pada

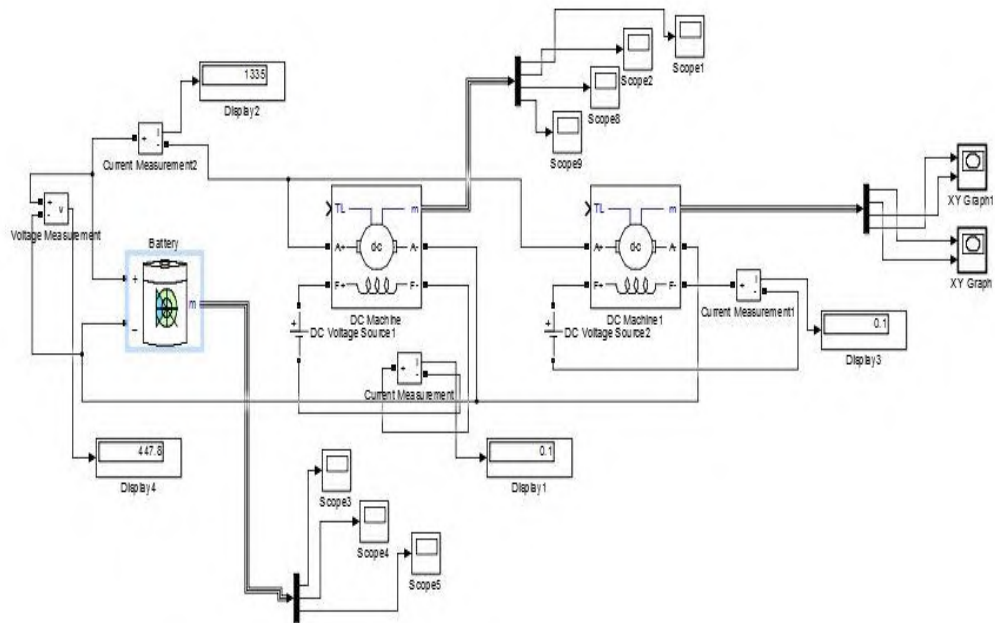
rangkaian II atau rangkaian seri seperti pada kecepatan minimum yaitu 0,58 knot pada masing-masing rangkaian, nilai torsi pada rangkaian paralel bernilai 125 Nm, sedangkan nilai torsi pada rangkaian seri bernilai 62,64 Nm. Begitu juga dengan nilai power pada putaran propeller yang sama yaitu 173,73 rpm, pada rangkaian I memiliki nilai power lebih besar yaitu 94,08 kW dibandingkan dengan nilai power pada rangkaian II yang bernilai 55,34 kW. Hal ini disebabkan karena motor dirangkai secara seri atau paralel akan berpengaruh pada tegangan yang masuk pada motor. Dengan input tegangan yang sama yaitu 380 V dengan 10260 AH, untuk motor yang dirangkai paralel input tegangan pada setiap motor akan bernilai sama dengan tegangan yang dihasilkan oleh baterai. Sedangkan ketika motor dirangkai seri, input tegangan pada setiap motor akan berbeda, karena tegangan awal yang dihasilkan oleh baterai akan masuk ke salah satu motor, kemudian akan diteruskan ke motor yang dipasang seri. Hal tersebut akan berpengaruh pada nilai putaran, serta torsi dengan kecepatan yang sama antara kedua rangkaian tersebut.

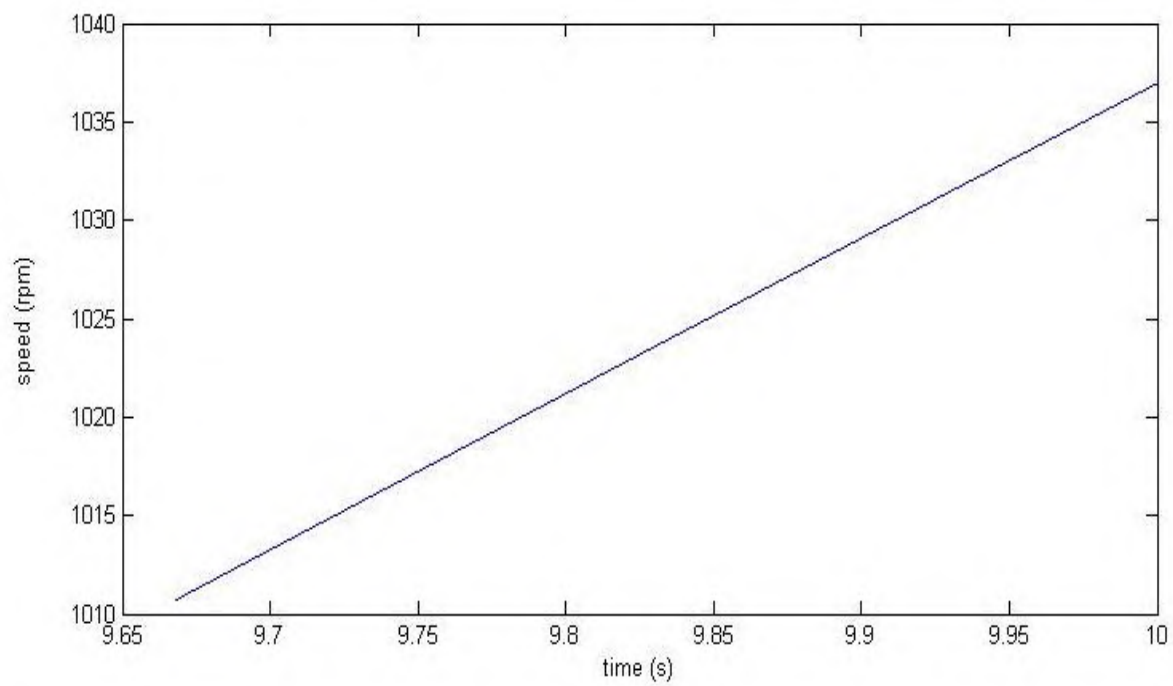
“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

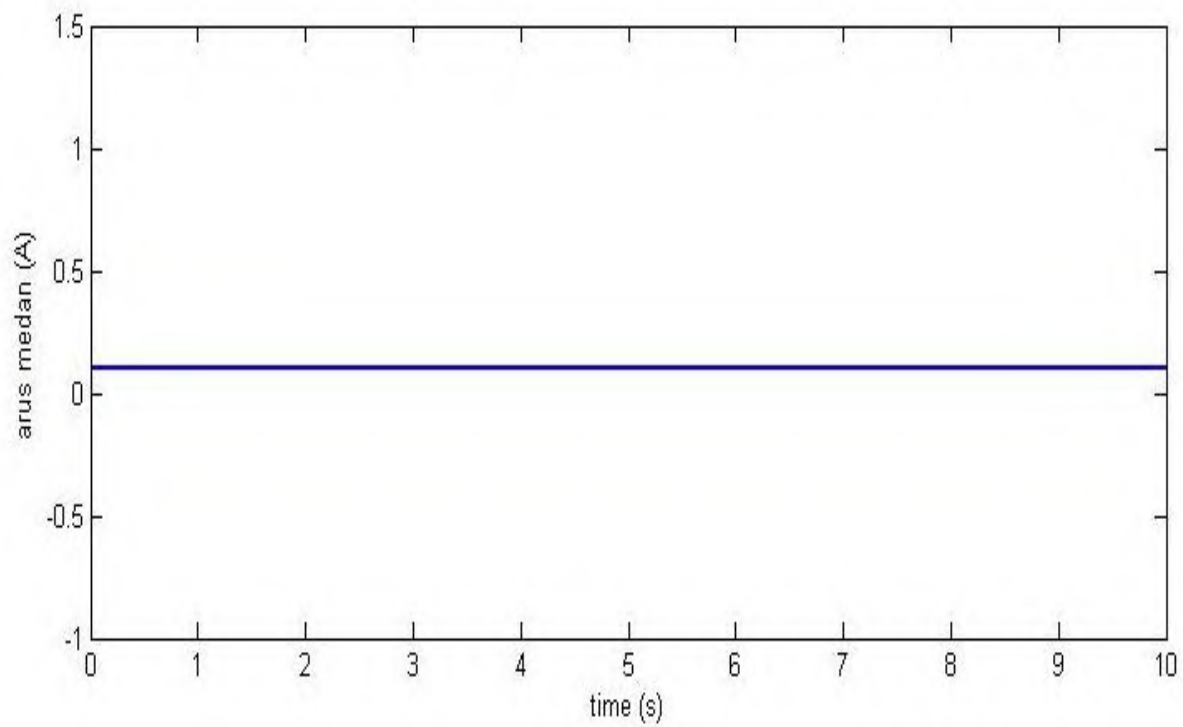
Gambar Rangkaian	Dengan atau tanpa omvomer	Kondisi baterai	Putaran (rpm)	Arus jangkar	Arus penguat tiap motor
	dengan	penuh			
	tanpa	terpakai			
	dengan	penuh	110	54	27
	tanpa	terpakai	110	50	29
	dengan	penuh	54-75	100-860	34 -9
	tanpa	terpakai	28-75	110-1000	23-8
	dengan	penuh	52-75	100-1000	34-8
	tanpa	terpakai	50-75	80-1000	34-8
	dengan	penuh	75-111	130-1500	34-8
	tanpa	terpakai	70-221	130-1500	10-8
	dengan	penuh	70-119	200-1400	34-8
	tanpa	terpakai	75-119	200-1400	
	dengan	penuh	75-117	538-1150	25-7
	tanpa	terpakai	80-112	400-1250	30-5
	dengan	penuh	111-278	175-1660	10-6,5
	tanpa	terpakai	111-166	200-1660	10-6

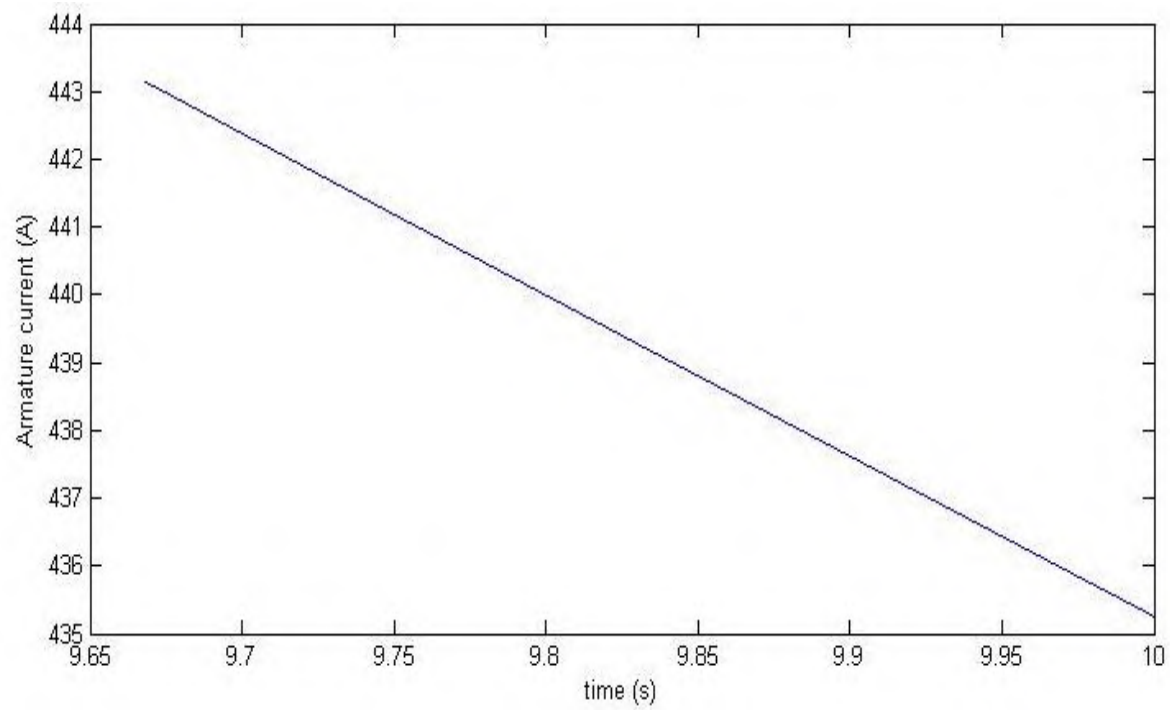
Gambar Rangkaian	Dengan atau tanpa omvomer	Kondisi baterai	Putaran (rpm)	Arus jangkar	Arus penguat tiap motor
	dengan	Penuh	175-217	538-1150	25-6
		terpakai	180-212	400-1250	30-5
	tanpa	Penuh	111-278	175-1660	10-6,5
		terpakai	111-166	200-1660	10-6
	dengan	penuh	111-175	520-1450	25-14
		terpakai	111-166	450-1450	25-13
	tanpa	penuh	158-200	430-2000	43-28
		terpakai	176-200	540-2000	45-12

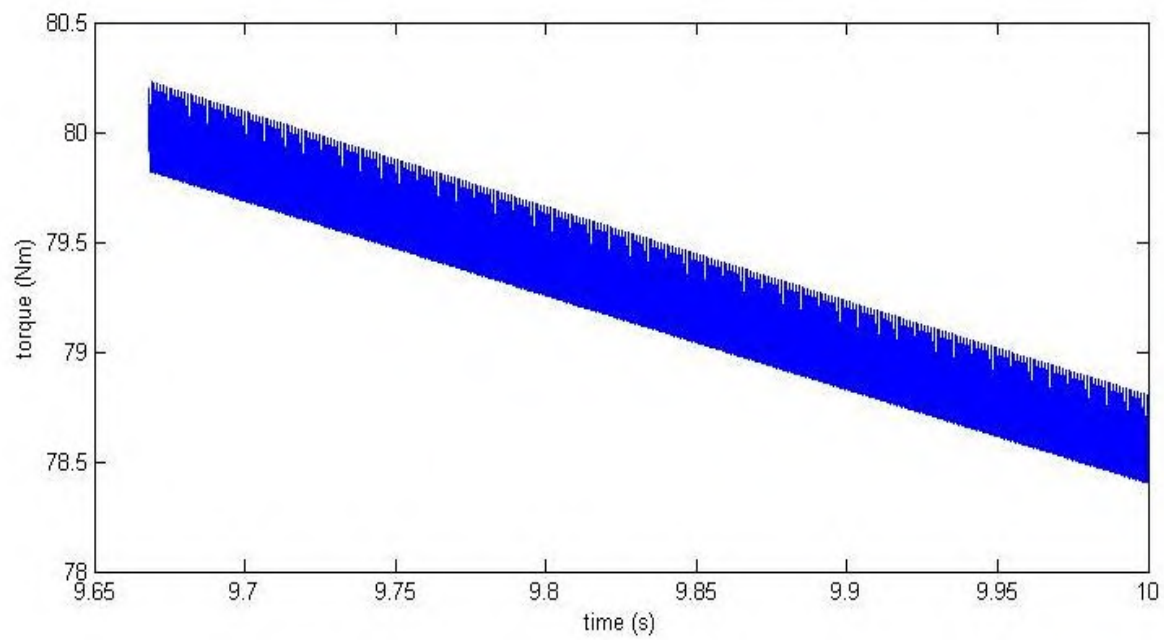
Continuous
powergui



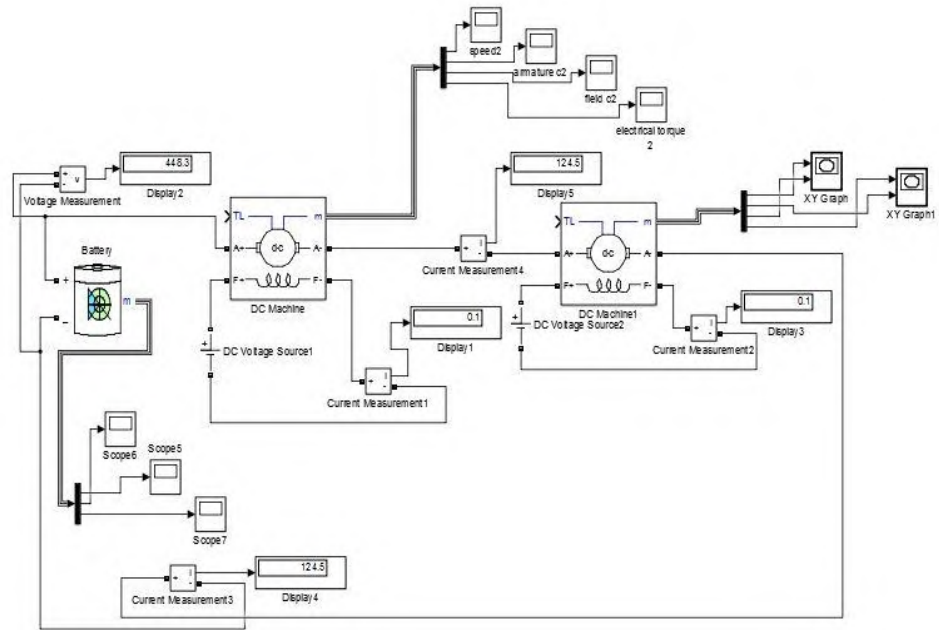


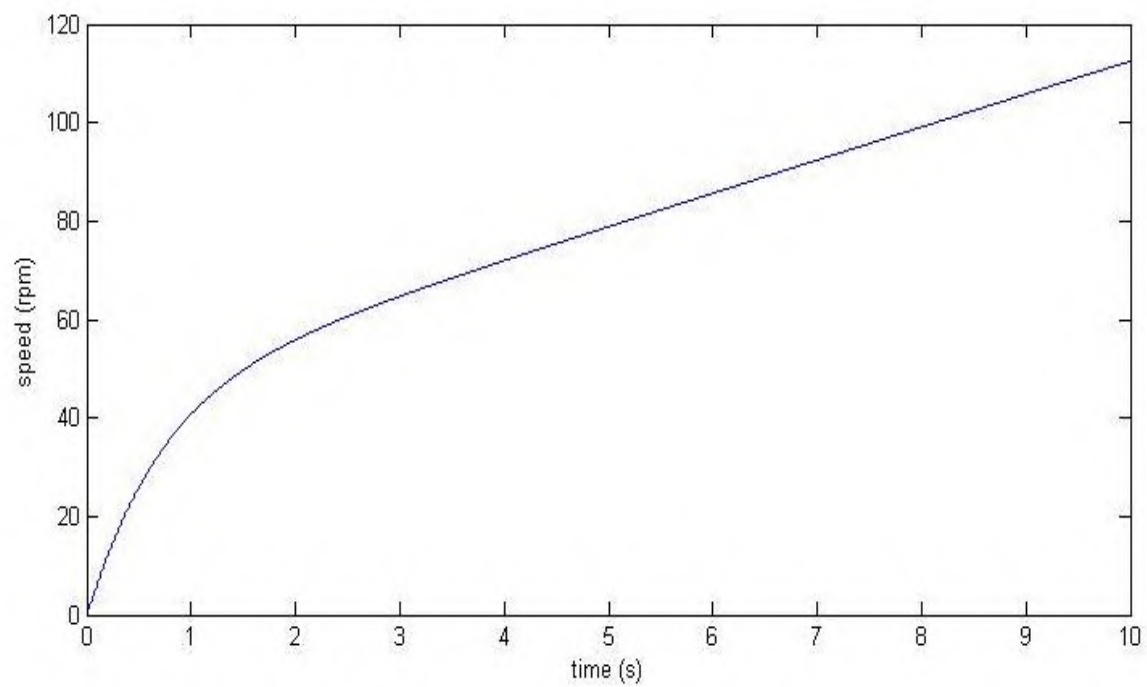


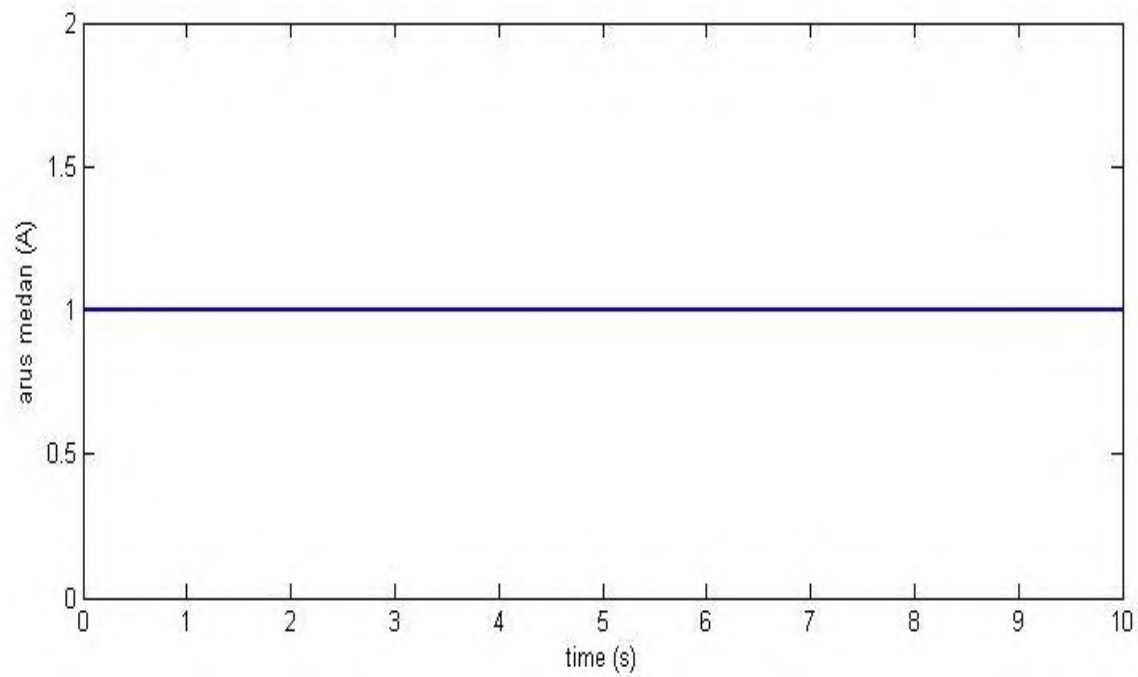


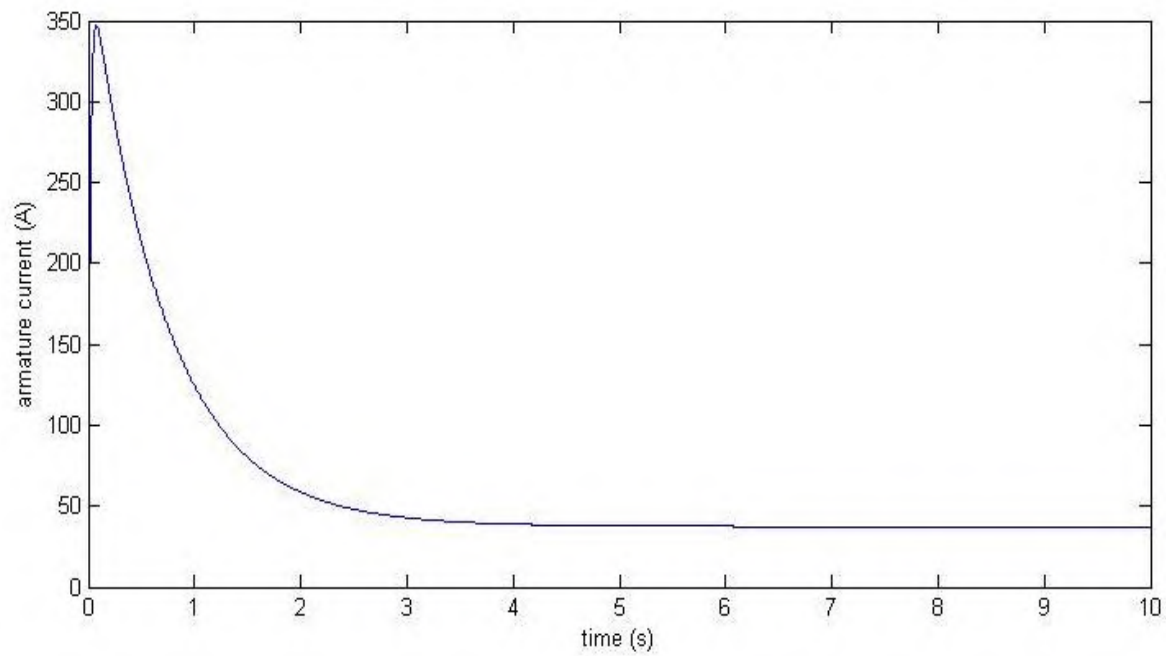


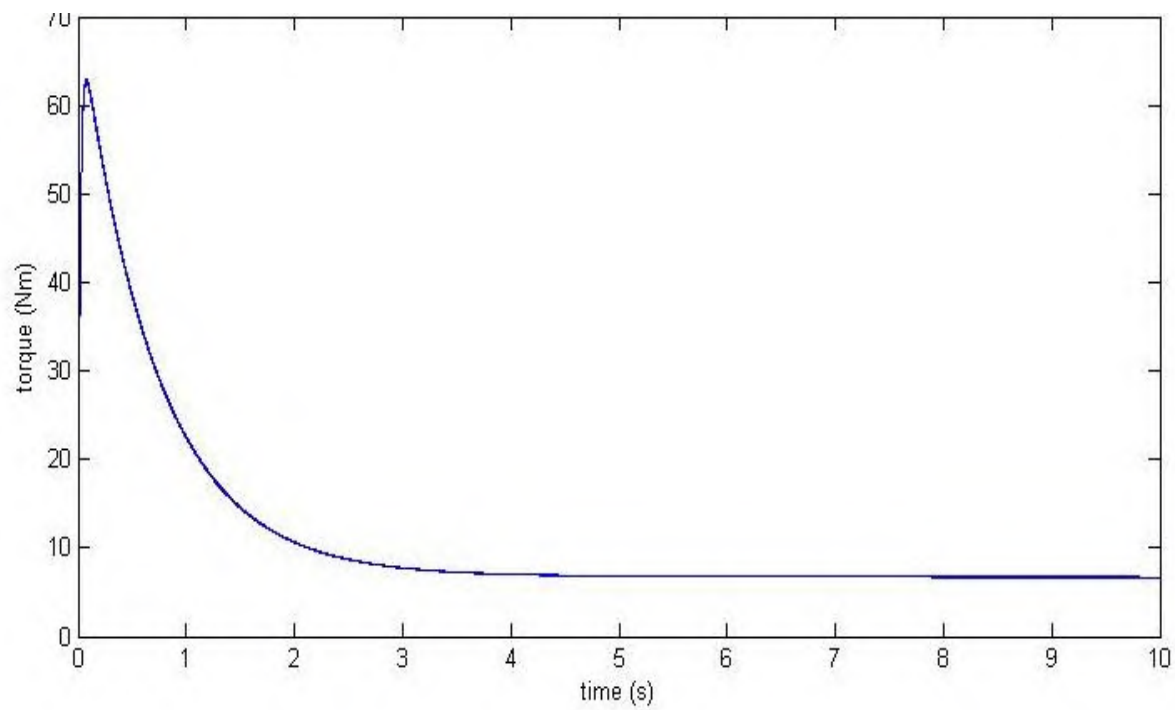
Continuous
powergui

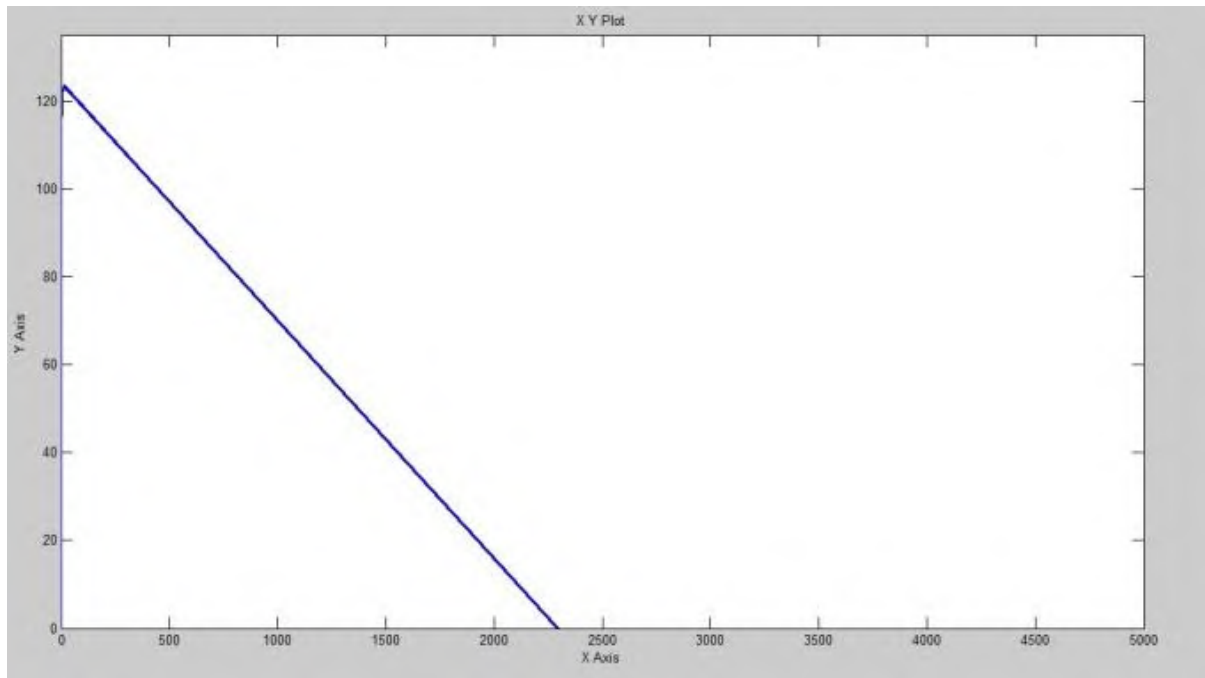


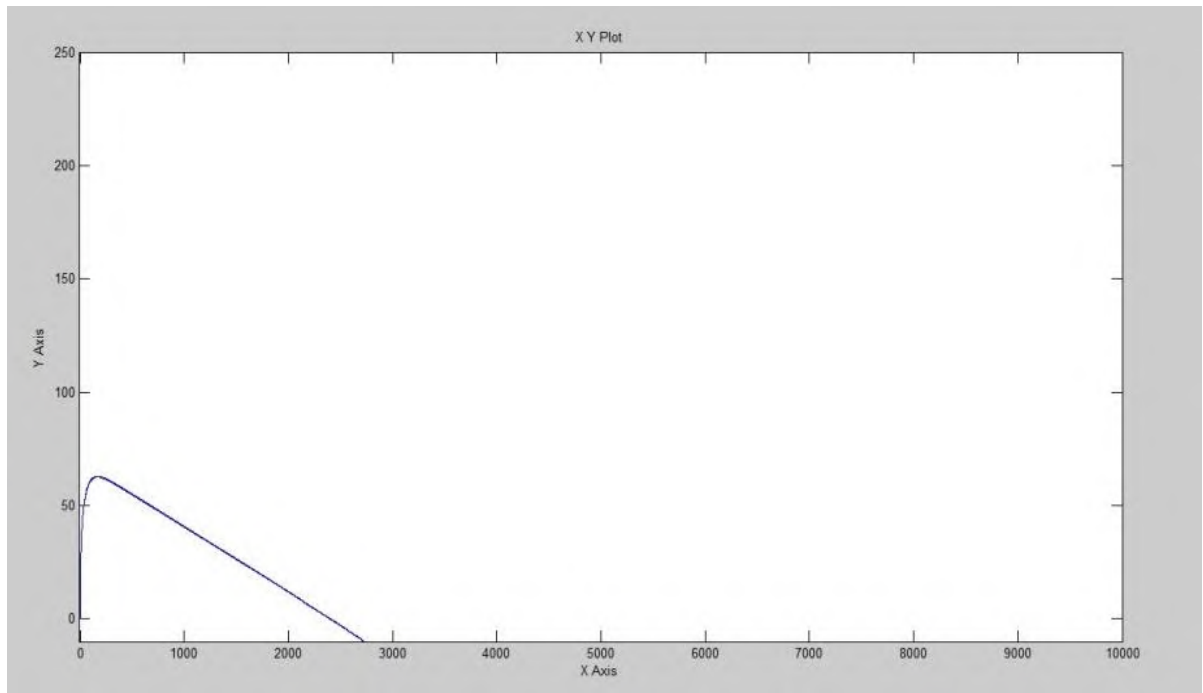




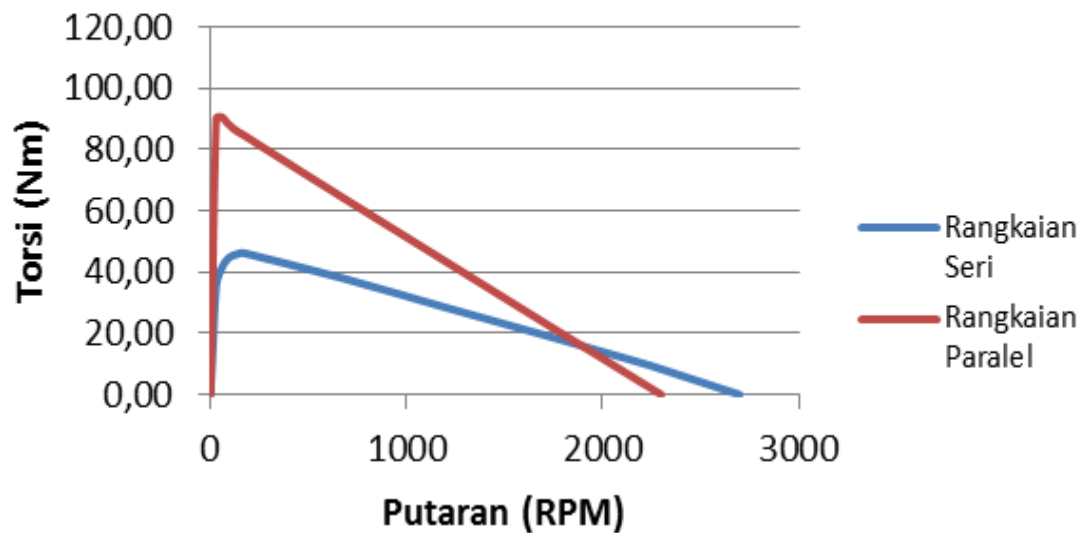








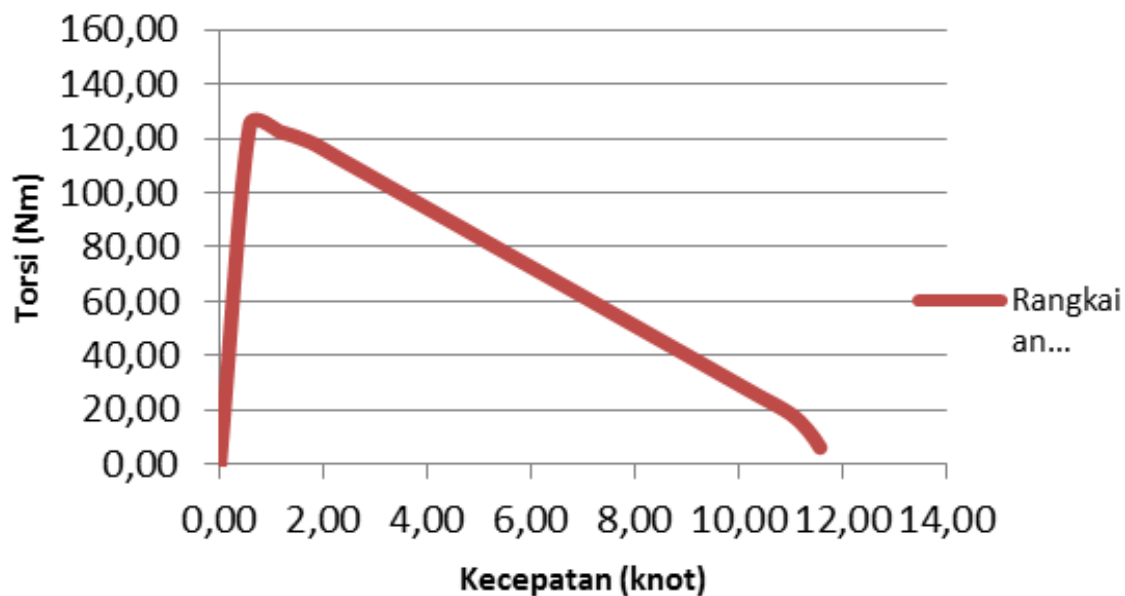
Grafik Torsi (Nm) Vs Putaran (RPM)



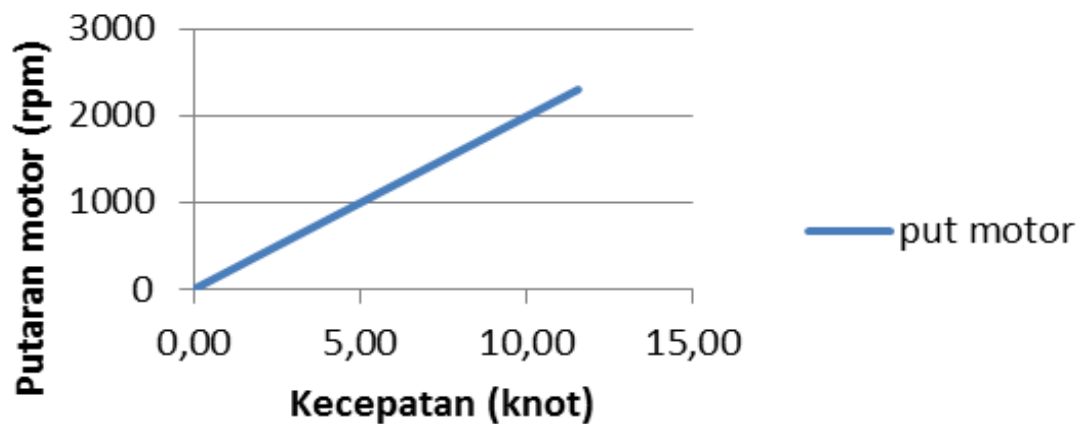
n motor (%)	n Motor DC	N propeler		Q (Nm)	DHP(watt)	SHP (watt)	BHP(watt)	BHP(kW)	Va	Vs (m/s)	Vs (Knot)
		n (rpm)	n (rps)		(2 π Qn)	(DHP/ η s)					
0%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5%	115	8,69	0,14	125,00	90357,14	92201,17	94082,82	94,08	0,21	0,30	0,58
10%	230	17,37	0,29	122,50	177100,00	180714,29	184402,33	184,40	0,42	0,60	1,16
15%	345	26,06	0,43	118,75	257517,86	262773,32	268136,04	268,14	0,63	0,89	1,74
20%	460	34,75	0,58	112,50	325285,71	331924,20	338698,16	338,70	0,84	1,19	2,31
25%	575	43,43	0,72	106,25	384017,86	391854,96	399852,00	399,85	1,04	1,49	2,89
30%	690	52,12	0,87	100,00	433714,29	442565,60	451597,55	451,60	1,25	1,79	3,47
35%	805	60,81	1,01	93,75	474375,00	484056,12	493934,82	493,93	1,46	2,08	4,05
40%	920	69,49	1,16	87,50	506000,00	516326,53	526863,81	526,86	1,67	2,38	4,63
45%	1035	78,18	1,30	81,25	528589,29	539376,82	550384,51	550,38	1,88	2,68	5,21
50%	1150	86,87	1,45	75,00	542142,86	553207,00	564496,94	564,50	2,09	2,98	5,79
55%	1265	95,55	1,59	68,75	546660,71	557817,06	569201,08	569,20	2,30	3,27	6,37
60%	1380	104,24	1,74	62,50	542142,86	553207,00	564496,94	564,50	2,51	3,57	6,94
65%	1495	112,92	1,88	56,25	528589,29	539376,82	550384,51	550,38	2,72	3,87	7,52
70%	1610	121,61	2,03	50,00	506000,00	516326,53	526863,81	526,86	2,92	4,17	8,10
75%	1725	130,30	2,17	43,75	474375,00	484056,12	493934,82	493,93	3,13	4,46	8,68
80%	1840	138,98	2,32	37,50	433714,29	442565,60	451597,55	451,60	3,34	4,76	9,26
85%	1955	147,67	2,46	31,25	384017,86	391854,96	399852,00	399,85	3,55	5,06	9,84
90%	2070	156,36	2,61	25,00	325285,71	331924,20	338698,16	338,70	3,76	5,36	10,42
95%	2185	165,04	2,75	18,75	257517,86	262773,32	268136,04	268,14	3,97	5,66	10,99
98%	2254	170,26	2,84	12,50	177100,00	180714,29	184402,33	184,40	4,09	5,83	11,34
100%	2300	173,73	2,90	6,25	90357,14	92201,17	94082,82	94,08	4,18	5,95	11,57

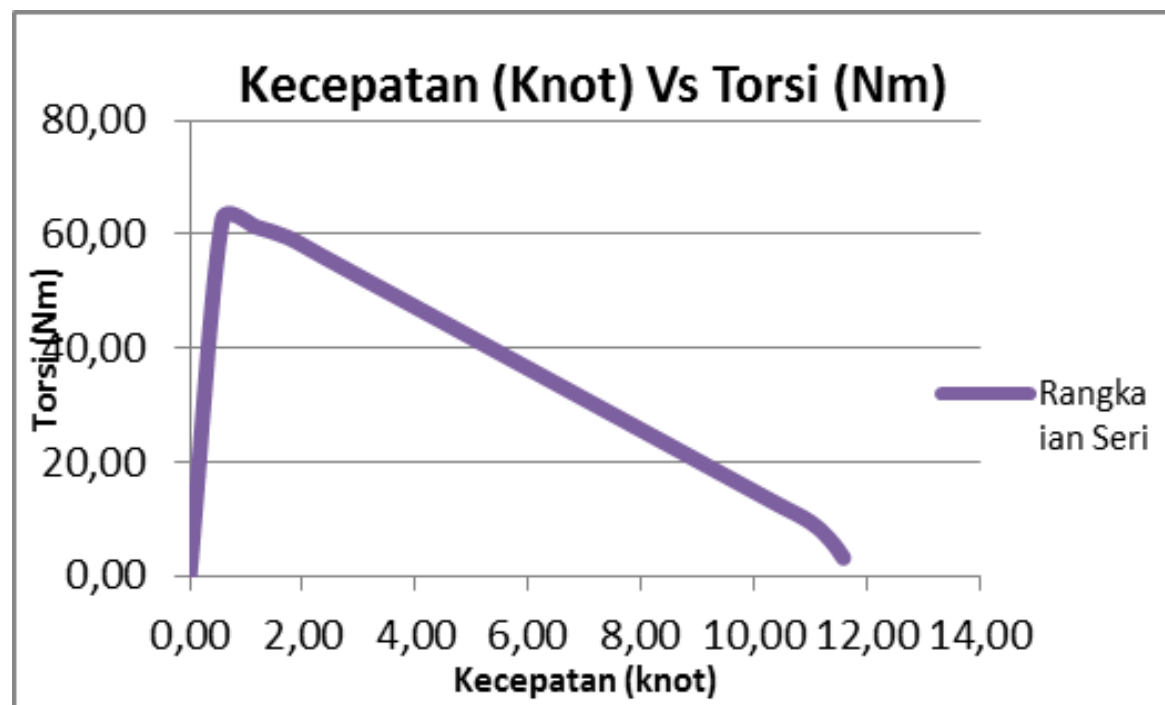
n Engine (%)	n Motor DC	N propeler		Q (Nm)	DHP(watt)	SHP (watt)	BHP(watt)	BHP(kW)	Va	Vs	Vs (Knot)
		n (rpm)	n (rps)		($2\pi Qn$)	(DHP/ η_s)					
0%	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5%	135	8,69	0,14	62,64	53151,12	54235,84	55342,69	55,34	0,21	0,30	0,58
10%	270	17,37	0,29	61,38	104176,20	106302,25	108471,68	108,47	0,42	0,60	1,16
15%	405	26,06	0,43	59,50	151480,70	154572,14	157726,68	157,73	0,63	0,89	1,74
20%	540	34,75	0,58	56,37	191344,04	195249,02	199233,70	199,23	0,84	1,19	2,31
25%	675	43,43	0,72	53,24	225892,27	230502,32	235206,45	235,21	1,04	1,49	2,89
30%	810	52,12	0,87	50,11	255125,39	260332,03	265644,93	265,64	1,25	1,79	3,47
35%	945	60,81	1,01	46,98	279043,40	284738,16	290549,14	290,55	1,46	2,08	4,05
40%	1080	69,49	1,16	43,85	297646,29	303720,71	309919,09	309,92	1,67	2,38	4,63
45%	1215	78,18	1,30	40,71	310934,07	317279,67	323754,76	323,75	1,88	2,68	5,21
50%	1350	86,87	1,45	37,58	318906,74	325415,04	332056,16	332,06	2,09	2,98	5,79
55%	1485	95,55	1,59	34,45	321564,30	328126,83	334823,30	334,82	2,30	3,27	6,37
60%	1620	104,24	1,74	31,32	318906,74	325415,04	332056,16	332,06	2,51	3,57	6,94
65%	1755	112,92	1,88	28,19	310934,07	317279,67	323754,76	323,75	2,72	3,87	7,52
70%	1890	121,61	2,03	25,05	297646,29	303720,71	309919,09	309,92	2,92	4,17	8,10
75%	2025	130,30	2,17	21,92	279043,40	284738,16	290549,14	290,55	3,13	4,46	8,68
80%	2160	138,98	2,32	18,79	255125,39	260332,03	265644,93	265,64	3,34	4,76	9,26
85%	2295	147,67	2,46	15,66	225892,27	230502,32	235206,45	235,21	3,55	5,06	9,84
90%	2430	156,36	2,61	12,53	191344,04	195249,02	199233,70	199,23	3,76	5,36	10,42
95%	2565	165,04	2,75	9,40	151480,70	154572,14	157726,68	157,73	3,97	5,66	10,99
98%	2646	170,26	2,84	6,26	104176,20	106302,25	108471,68	108,47	4,09	5,83	11,34
100%	2700	173,73	2,90	3,13	53151,12	54235,84	55342,69	55,34	4,18	5,95	11,57

Kecepatan (Knot) Vs Torsi (Nm)

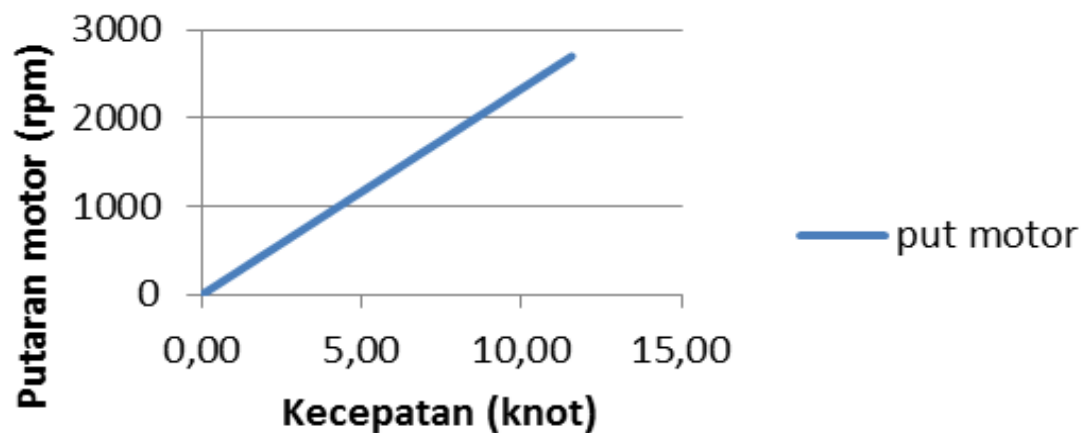


Grafik hubungan kecepatan dan putaran motor

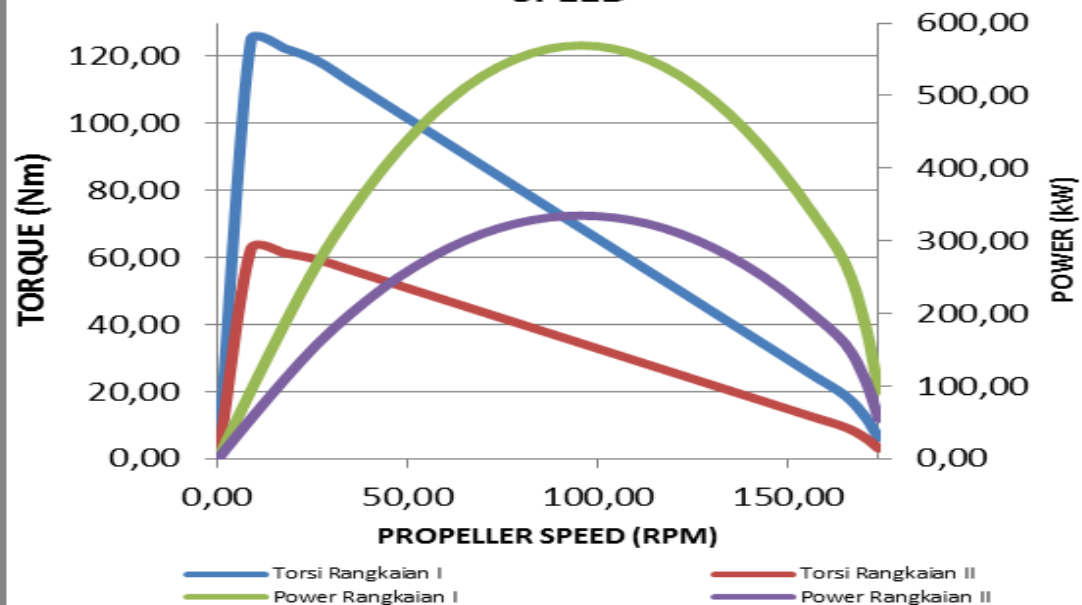




Grafik hubungan kecepatan dan putaran motor



GRAFIK POWER VS TORQUE VS PROPELLER SPEED



Perhitungan Perubahan Nilai Ct dan Rt

Principal Dimension				
L_{PP}			69	m
B			11.8	m
T			4.7	m
H			5.25	m
L_{WL}	$(1 + 4\%) L_{PP}$		72.45	m
L_{DISP}	$1/2 (L_{PP} + L_{WL})$		70.725	m
C_M			0.983	
$C_{B\ DISP}$			0.695	
$C_{P\ DISP}$			0.707	
$C_{B\ WL}$	$C_{B\ DISP} \cdot L_{DISP} / L_{WL}$		0.678452	
$C_{P\ WL}$	$C_{P\ DISP} \cdot L_{DISP} / L_{WL}$		0.690167	
A_M	$B \cdot T \cdot C_M$		54.51718	
V_S	11	knot	5.658884	m/s
Jenis	oil carrier			

Kecepatan Servis 11 knot

Menentukan Harga Bilangan Froude Number dan Angka Reynould

$$\begin{aligned}
 V_S &= 11 \text{ knot} & 1 \text{ knot} &= 0.51444 \text{ m/s} \\
 &= 5.659 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad v = 1.05372\text{E-}06 \text{ pada suhu } 30^0$$

$$\begin{aligned} F_n &= V_s / (g x L_{wl})^{0.5} & R_n &= (V_{sx} L_{wl}) / v \\ &= \mathbf{0.212370985} & &= \mathbf{389081500} \end{aligned}$$

Mencari Cf dari Diagram

koefisien tahanan gesek didapat dari rumusan :

$$\begin{aligned} C_f &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\ &= \mathbf{0.001726971} \end{aligned}$$

Menentukan Harga Cr dari Diagram

tahanan sisa kapal dapat ditentukan melalui diagram Guldhammer-Harvald dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = L_{wl} / \nabla^{1/3} = \mathbf{5.141}$$

koefisien presmatik (ϕ) = C_b / β

$$\beta = (0,08 * C_B) + 0,93 = \mathbf{0.9856}$$

sehingga : (ϕ) = $\mathbf{0.7052}$

$$F_n = \mathbf{0.2124}$$

dari interpolasi diagram pada diagram Guldhammer-harvald diperoleh :

$L/V^{1/3}$	$10^3 C_R$
4.5	1.200
5.141	Ca

$$103 C_R = 1.23520$$

$$C_{R1} = 0.0012352$$

5	0.980
---	-------

Dari kedua nilai Diagram Guldhammer-Harvald tersebut didapat: 0.001235

Bentuk Badan Kapal

Karena bentuk badan kapal yang ada standart, maka tidak ada koreksi.

Rasio B/T

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat B/T = 2.5
maka harga Cr untuk kapal yang mempunyai rasio lebar-sarat lebih besar
atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi

$$\begin{aligned}
 B/T &= 2.510638298 & 10^3 Cr &= 10^3 Cr_1 + (0.16 * (B/T - 2.5)) \\
 10^3 Cr_2 &= 1.236902 \\
 Cr_2 &= \mathbf{0.001237}
 \end{aligned}$$

Adanya penyimpangan LCB

LCB dari Tugas Rencana Garis adalah LCB :

$$\begin{aligned}
 e\% &= 1.045\% & \text{belakang mid} \\
 Ldisp &= 70.25 & \text{meter} \\
 e\% * Ldisp &= 0.734113 & \text{meter}
 \end{aligned}$$

Penentuan LCB standart dalam % dengan acuan grafik LCB Standart, buku *TAHANAN DAN PROPULSI KAPAL* hal. 130, gambar 5.5.15

$LCB_{Std} = 0.30\%$ \longrightarrow 0.21075 m di depan midship
 karena letak LCB kapal di depan LCB standart maka harus dilakukan koreksi, sbb :

$$\Delta LCB = LCB - LCB_{standart}$$

$$= 0.745\%$$

$$(d10^3Cr/dLCB) = 0.15 \text{ didapat dari diagram 5.5.16(HARVALD)}$$

$$10^3Cr_3 = 10^3Cr_{(2)} + (d10^3Cr/dLCB) \times \Delta LCB$$

$$10^3Cr_3 = 1.23802$$

$$Cr_3 = 0.00123802$$

Menghitung Tahanan Total Kapal

Koef. tahanan total kapal atau **Ct**, dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien - koefisien tahanan kapal yang ada :

$$Ct_{air} = Cf + Cr + Ca + Cas + Caa$$

$$= \mathbf{0.0035339}$$

$$Rt = Ct \times 0.5 \times \rho \text{ airlaut} \times Vs^2 \times S$$

$$= \mathbf{66.48081073} \text{ kN}$$

Kecepatan Servis 12 knot

Menentukan Harga Bilangan Froude Number dan Angka Reynould

$$\begin{aligned} V_s &= 12 \text{ knot} & 1 \text{ knot} &= 0.51444 \text{ m/s} \\ &= 6.173 \text{ m/s} \\ g &= 9.8 \text{ m/s}^2 & \nu &= 1.05372\text{E-}06 \text{ pada suhu } 30^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_n &= V_s / (g \times L_{wl})^{0.5} & R_n &= (V_s \times L_{wl}) / \nu \\ &= \mathbf{0.231677439} & &= \mathbf{414346532.3} \end{aligned}$$

Mencari Cf dari Diagram

koefisien tahanan gesek didapat dari rumusan :

$$\begin{aligned} C_f &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\ &= \mathbf{0.001712739} \end{aligned}$$

Menentukan Harga Cr dari Diagram

tahanan sisa kapal dapat ditentukan melalui diagram Guldhammer-Harvald dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = L_{wl} / \nabla^{1/3} = \mathbf{5.141}$$

koefisien presmatik (ϕ) = C_b / β

$$\beta = (0.08 \times C_B) + 0.93 = \mathbf{0.9856}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga :} \quad (\phi) &= \mathbf{0.7052} \\ F_n &= \mathbf{0.2317} \end{aligned}$$

dari interpolasi diagram pada diagram Guldhammer-harvald diperoleh :

$L/V^{1/3}$	$10^3 C_R$
-------------	------------

$$103 C_R = 1,10 + [(5,484 - 5)/(5,5 - 5)) \times (0,642 - 0,746)]$$

5	0.751
5.141	Ca
5.5	0.642

$$= 0.720179985$$

$$CR1 = 0.00072018$$

Dari kedua nilai Diagram Guldhammer-Harvald tersebut didapat: 0.00072

Bentuk Badan Kapal

Karena bentuk badan kapal yang ada standart, maka tidak ada koreksi.

Rasio B/T

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat B/T = 2.5
maka harga Cr untuk kapal yang mempunyai rasio lebar-sarat lebih besar
atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi

$$B/T = 2.510638298 \quad 10^3 Cr = 10^3 Cr1 + (0.16 * (B/T - 2.5))$$

$$10^3 Cr2 = 0.721882$$

$$Cr2 = 0.000722$$

Adanya penyimpangan LCB

LCB dari Tugas Rencana Garis adalah LCB :

$$e\% = 1.045\% \quad \text{belakang mid}$$

$$Ldisp = 70.25 \quad \text{meter}$$

$$e\% * Ldisp = 0.734113 \quad \text{meter}$$

Penentuan LCB standart dalam % dengan acuan grafik LCB Standart, buku *TAHANAN DAN*

PROPULSI KAPAL hal. 130, gambar 5.5.15

$LCB_{Std} = 0.30\%$ —————→ 0.21075 m di depan midship
karena letak LCB kapal di depan LCB standart maka harus dilakukan koreksi, sbb :

$$\begin{aligned}\Delta LCB &= LCB - LCB_{standart} \\ &= 0.745\%\end{aligned}$$

$$(d10^3Cr/dLCB) = 0.16 \text{ didapat dari diagram 5.5.16(HARVALD)}$$

$$10^3Cr_3 = 10^3Cr_{(2)} + (d10^3Cr/dLCB) \times \Delta LCB$$

$$10^3Cr_3 = 0.72307$$

$$Cr_3 = 0.000723074$$

Menghitung Tahanan Total Kapal

Koef. tahanan total kapal atau **Ct**, dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien - koefisien tahanan kapal yang ada :

$$\begin{aligned}Ct_{air} &= Cf + Cr + Ca + Cas + Caa \\ &= \mathbf{0.0029458}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rt &= Ct \times 0.5 \times \rho \text{ airlaut} \times Vs^2 \times S \\ &= \mathbf{179.4931616} \text{ kN}\end{aligned}$$

Kecepatan Servis 13 knot

Menentukan Harga Bilangan Froude Number dan Angka Reynould

$$\begin{aligned}
 V_s &= 13 \text{ knot} & 1 \text{ knot} &= 0.51444 \text{ m/s} \\
 &= 6.688 \text{ m/s} \\
 g &= 9.8 \text{ m/s}^2 & \nu &= 1.05372\text{E-}06 \text{ pada suhu } 30^0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_n &= V_s / (g \times L_{wl})^{0.5} & R_n &= (V_s \times L_{wl}) / \nu \\
 &= \mathbf{0.250983892} & &= \mathbf{448875410}
 \end{aligned}$$

Mencari Cf dari Diagram

koefisien tahanan gesek didapat dari rumusan :

$$\begin{aligned}
 C_f &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\
 &= \mathbf{0.001694885}
 \end{aligned}$$

Menentukan Harga Cr dari Diagram

tahanan sisa kapal dapat ditentukan melalui diagram Guldhammer-Harvald dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = L_{wl} / \nabla^{1/3} = \mathbf{5.141}$$

koefisien presmatik (ϕ) = C_b / β

$$\beta = (0.08 \times C_B) + 0.93 = \mathbf{0.9856}$$

$$\begin{aligned}
 \text{sehingga :} \quad (\phi) &= \mathbf{0.7052} \\
 F_n &= \mathbf{0.2510}
 \end{aligned}$$

dari interpolasi diagram pada diagram Guldhammer-harvald diperoleh :

$L/V^{1/3}$	$10^{1/3} C_R$
-------------	----------------

$$103 C_R = 1.10 + [((5.484 - 5)/(5.5 - 5)) \times (0.76 - 0.896)]$$

5	0.896
5.141	Ca
5.5	0.760

$$= 0.85754567$$

$$CR1 = 0.000857546$$

Dari kedua nilai Diagram Guldhammer-Harvald tersebut didapat: 0.000858

Bentuk Badan Kapal

Karena bentuk badan kapal yang ada standart, maka tidak ada koreksi.

Rasio B/T

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat B/T = 2.5
maka harga Cr untuk kapal yang mempunyai rasio lebar-sarat lebih besar
atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi

$$B/T = 2.510638298 \quad 10^3 Cr = 10^3 Cr1 + (0.16 * (B/T - 2.5))$$

$$10^3 Cr2 = 0.859248$$

$$Cr2 = 0.000859$$

Adanya penyimpangan LCB

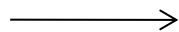
LCB dari Tugas Rencana Garis adalah LCB :

$$e\% = 1.045\% \quad \text{belakang mid}$$

$$Ldisp = 122.4204 \quad \text{meter}$$

$$e\% * Ldisp = 1.279293 \quad \text{meter}$$

Penentuan LCB standart dalam % dengan acuan grafik LCB Standart, buku *TAHANAN DAN PROPULSI KAPAL* hal. 130, gambar 5.5.15



$LCB_{Std} = 1.80\%$ \longrightarrow 2.203567 m di depan midship
 karena letak LCB kapal di depan LCB standart maka harus dilakukan koreksi, sbb :

$$\Delta LCB = LCB - LCB_{standart}$$

$$= 2.845\%$$

$$(d10^3Cr/dLCB) = 0.25 \text{ didapat dari diagram 5.5.16(HARVALD)}$$

$$10^3Cr_3 = 10^3Cr_{(2)} + (d10^3Cr/dLCB) \times \Delta LCB$$

$$10^3Cr_3 = 0.86636$$

$$Cr_3 = 0.00086636$$

Menghitung Tahanan Total Kapal

Koef. tahanan total kapal atau **Ct**, dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien - koefisien tahanan kapal yang ada :

$$Ct_{air} = Cf + Cr + Ca + Cas + Caa$$

$$= \mathbf{0.0030629}$$

$$Rt = Ct \times 0.5 \times \rho \text{ airlaut} \times Vs^2 \times S$$

$$= \mathbf{219.0278183} \text{ kN}$$

Kecepatan Servis 15 knot

Menentukan Harga Bilangan Froude Number dan Angka Reynould

$$\begin{aligned} V_s &= 15 \text{ knot} & 1 \text{ knot} &= 0.51444 \text{ m/s} \\ &= 7.717 \text{ m/s} \\ g &= 9.8 \text{ m/s}^2 & \nu &= 1.05372\text{E-}06 \text{ pada suhu } 30^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_n &= V_s / (g \times L_{wl})^{0.5} & R_n &= (V_s \times L_{wl}) / \nu \\ &= \mathbf{0.289596798} & &= \mathbf{517933165.4} \end{aligned}$$

Mencari Cf dari Diagram

koefisien tahanan gesek didapat dari rumusan :

$$\begin{aligned} C_f &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\ &= \mathbf{0.001663655} \end{aligned}$$

Menentukan Harga Cr dari Diagram

tahanan sisa kapal dapat ditentukan melalui diagram Guldhammer-Harvald dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = L_{wl} / \nabla^{1/3} = \mathbf{5.141}$$

koefisien presmatik (ϕ) = C_b / β

$$\beta = (0.08 \times C_B) + 0.93 = \mathbf{0.9856}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga :} \quad (\phi) &= \mathbf{0.7052} \\ F_n &= \mathbf{0.2896} \end{aligned}$$

dari interpolasi diagram pada diagram Guldhammer-harvald diperoleh :

$L/V^{1/3}$	$10^3 CR$
5	1.135
5.141	Ca
5.5	1.030

$$\begin{aligned}
 10^3 CR &= 1,10 + [((5,484 - 5)/(5,5 - 5)) \times (0,95 - 1,06)] \\
 &= 1.105310995 \\
 CR1 &= 0.001105311
 \end{aligned}$$

Dari kedua nilai Diagram Guldhammer-Harvald tersebut didapat: 0.001105

Bentuk Badan Kapal

Karena bentuk badan kapal yang ada standart, maka tidak ada koreksi.

Rasio B/T

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat B/T = 2.5
maka harga Cr untuk kapal yang mempunyai rasio lebar-sarat lebih besar
atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi

$$\begin{aligned}
 B/T &= 2.510638298 & 10^3 Cr &= 10^3 Cr1 + (0,16 \cdot (B/T - 2,5)) \\
 10^3 Cr2 &= 1.107013 \\
 Cr2 &= \mathbf{0.001107}
 \end{aligned}$$

Adanya penyimpangan LCB

LCB dari Tugas Rencana Garis adalah LCB :

$$\begin{aligned}
 e\% &= 1.045\% & \text{belakang mid} \\
 Ldisp &= 122.4204 & \text{meter} \\
 e\% \cdot Ldisp &= 1.279293 & \text{meter}
 \end{aligned}$$

Penentuan LCB standart dalam % dengan acuan grafik LCB Standart, buku *TAHANAN DAN PROPULSI KAPAL* hal. 130, gambar 5.5.15

LCB_{Std} = 0.25% $\xrightarrow{\hspace{1.5cm}}$ 0.307275 m di belakang midship
 karena letak LCB kapal di depan LCB standart maka harus dilakukan koreksi, sbb :

$$\Delta \text{LCB} = \text{LCB} - \text{LCBstandart} \\ = 0.794\%$$

$$(d10^3\text{Cr}/d\text{LCB}) = 0.37 \text{ didapat dari diagram 5.5.16(HARVALD)}$$

$$10^3\text{Cr}_3 = 10^3\text{Cr}_{(2)} + (d10^3\text{Cr}/d\text{LCB}) \times \Delta\text{LCB}$$

$$10^3\text{Cr}_3 = 1.10995$$

$$\text{Cr}_3 = 0.001109951$$

Menghitung Tahanan Total Kapal

Koef. tahanan total kapal atau **Ct**, dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh koefisien - koefisien tahanan kapal yang ada :

$$\text{Ct}_{\text{air}} = \text{Cf} + \text{Cr} + \text{Ca} + \text{Cas} + \text{Caa} \\ = \mathbf{0.0032753}$$

$$\text{Rt} = \text{Ct} \times 0.5 \times \rho \text{ airlaut} \times \text{Vs}^2 \times \text{S} \\ = \mathbf{311.8229371} \text{ kN}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi serta analisa pada setiap rangkaian maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Pada rangkaian I dengan motor yang dirangkai secara paralel setelah dilakukan simulasi nilai putaran yang dihasilkan maksimum ialah 2300 rpm, sedangkan pada rangkaian II dengan motor yang dirangkain seri nilai putaran maksimum yang dihasilkan 2700 rpm.
2. Pada rangkaian I setelah dilakukan simulasi, nilai torsi maksimum 125 Nm dan nilai torsi minimum 6,25 Nm. Sedangkan nilai torsi maksimum pada rangkaian 62,64 Nm dan nilai torsi minimum 3,18 Nm. Dari kedua rangkaian terdapat perbedaan nilai torsi pada rangkaian I dan rangkaian II. Nilai torsi rangkaian I hampir dua kali lipat lebih besar dari nilai torsi pada rangkaian II.
3. Pada grafik torsi vs putaran, bahwa pada rangkaian paralel, putaran maksimum yaitu 2300 rpm nilai torsi yang dihasilkan rangkaian paralel yaitu 6,25 Nm. Sedangkan untuk rangkaian seri dengan putaran maksimum 2700 rpm untuk torsi yang dihasilkan rangkaian seri lebih rendah dibandingkan nilai torsi yang dihasilkan rangkaian paralel yaitu 3,18 Nm pada rangkaian seri. Hal ini

disebabkan karena, nilai tegangan yang masuk ke motor saat motor dirangkai seri dengan motor yang dirangkain paralel berbeda, sehingga berpengaruh pada nilai torsi.

4. Pada grafik torsi vs putaran rangkaian seri pada kecepatan maksimum 11,57 knot membutuhkan daya yang lebih rendah yaitu 55,34 kW dibandingkan daya yang dibutuhkan rangkaian paralel yaitu 94,08 kW.
5. Pada grafik torsi vs kecepatan, pada masing-masing rangkaian ialah ketika kecepatan mencapai 11,57 knot, torsi yang dihasilkan dari masing-masing rangkaian akan mendekati nol yaitu 6,25 untuk rangkaian paralel dan 3,18 untuk rangkaian seri. Sehingga hubungan antara torsi dengan kecepatan kapal yang dihasilkan adalah berbanding terbalik.
6. Pada kecepatan maksimum pada masing-masing rangkaian menghasilkan torsi rendah, namun torsi pada rangkaian I lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian II. Sehingga pada saat kapal ingin manuver, rangkaian I lebih sesuai dibandingkan dengan rangkaian II yaitu pada kecepatan antara 0,58 -3,47 knot.
7. Pada saat kapal ingin berpatroli, kecepatan yang sesuai dengan torsi yang cukup yaitu pada kecepatan antara 4,05-8,68 knot.
8. Pada saat kapal ingin melakukan pengejaran, yaitu dengan kecepatan yang tinggi dengan torsi yang rendah, maka kecepatan yang sesuai ialah antara 9,26-11,57 knot.

5.2. Saran

- a. Melakukan perhitungan tahanan kapal sesuai dengan dimensi utama kapal yang dikaji, dengan menentukan kecepatan yang sesuai dengan kecepatan kapal selam pada umumnya.
- b. Melakukan perhitungan tahanan kapal dengan metode yang digunakan untuk menghitung tahanan kapal selam.
- c. Melakukan analisa dengan memvariasikan rangkaian baterai pada setiap rangkaian motor seri maupun paralel.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2011). *Fungsi 3 Komponen Utama Motor DC*.
Dipetik Januari 13, 2016, dari
okanandaferry.wordpress.com:
www.okanandaferry.wordpress.com
- Anonim. 2012.
www.automationkarawang.files.wordpress.com.
Dipetik Januari 2, 2016, dari
www.automationkarawang.files.wordpress.com:
www.automationkarawang.files.wordpress.com
- Anonim. 2103. www.ujiansma.com. Dipetik Januari 9,
2016, dari www.ujiansma.com:
www.ujiansma.com
- Chapman, S. J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals*.
New York: Elizabeth A. Jones.
- D.S., T. 2014. www.robotics-university.com. Dipetik
Januari 11, 2016, dari www.robotics-university.com
- Habibi, M. S. 2014. Kajian Penggunaan Motor Listrik DC
Sebagai Penggerak Speedboat. 1-7.
- Lewis, Edward V. 1998. Principle of Naval Architect
Volume II “Resistance, Propulsion and
Vibration”, The Society of Naval Architect and
Marine Engineering, NJ.
- Okanandaferry. (2012, Mei 2).
okanandaferry.blogspot.com. Dipetik 2016, dari
www.okanandaferry.blogspot.com:
www.okanandaferry.files.wordpress.com
- Santana, W. 2013. www.blogs.itb.ac.id. Dipetik Desember
22, 2015, dari www.blogs.itb.ac.id:
www.blogs.itb.ac.id
- Sv. Aa. Harvald, 1992, Tahanan dan Propulsi Kapal,
Airlangga University Press, Surabaya, Indonesia

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Tabel variasi rangkaian
2. Rangkaian pada simulasi MATLAB
3. Grafik hasil simulasi MATLAB
4. Perhitungan tahanan dengan variasi kecepatan
5. Perhitungan pemilihan propeller
6. Tabel hasil perhitungan masing-masing rangkaian
7. Grafik perbandingan rangkaian

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Amalia Astrania Jaya lahir di Kediri pada tanggal 11 Mei 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Samsuri dan Wiwik Pertiwi. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis antara lain Taman Kanak-Kanak Dharma wanita Kediri, lalu menempuh sekolah dasar pada tahun 2001 di SDN Banjaran 1 Kediri, kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama pada tahun 2007 di MTsN 2 Kediri, dan menempuh jenjang selanjutnya di MAN 3 Kediri selama 2 tahun dengan program *acceleration class*. Selepas lulus dari sekolah menengah atas pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di program S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan dan organisasi mahasiswa intra kampus baik di tingkat jurusan, fakultas maupun institut. Diantaranya penulis pernah menjadi sekertaris Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS selama 2 tahun kepengurusan berturut-turut yaitu periode 2013/2014 dan periode 2014/2015, kemudian pada periode 2014/2015 penulis menjabat pula sebagai sekertaris pusat kegiatan Marine Icon yang merupakan kegiatan terbesar di Jurusan Teknik Sistem

Perkapalan. Selain aktif dalam organisasi jurusan, penulis juga berkesempatan menjadi salah satu grader atau asisten laboratorium selama 3 kali periode di Laboratorium Marine Electrical and Automatical System.